

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-228401

(43)Date of publication of application : 24.08.2001

(51)Int. CI. G02B 17/08

G02B 13/18

H01L 21/027

(21)Application number : 2000-037981 (71)Applicant : CANON INC

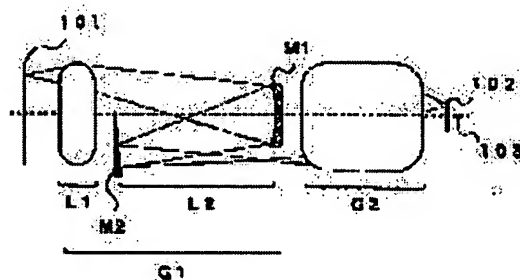
(22)Date of filing : 16.02.2000 (72)Inventor : TERASAWA CHIAKI  
ISHII HIROYUKI  
KATO TAKASHI

(54) PROJECTION OPTICAL SYSTEM, PROJECTION ALIGNER BY THIS PROJECTION OPTICAL SYSTEM AND METHOD FOR MANUFACTURING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection optical system which does not give rise to the light shielding (drop-out) of the pupil, is capable of assuring high resolving power and a wide exposure region and facilitates assembly and regulation, a projection aligner by this projection optical system and a method for manufacturing the device.

SOLUTION: The projection optical system for projecting the image of an object to an image plane has a first image optical system for forming at least an intermediate image of the object described above and a second image optical system for projecting this intermediate image to the image plane in order of the optical paths from the object side. The first image optical system and the second image optical system are arranged along the optical axis of one common straight line. The first image optical system has a mirror and the image of the object is projected to the image plane by abaxial light past the outside of the effective diameter of this mirror.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 05.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 15.01.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-228401

(P2001-228401A)

(43)公開日 平成13年8月24日(2001.8.24)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト*(参考)
G 0 2 B 17/08		G 0 2 B 17/08	A 2 H 0 8 7
13/18		13/18	5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D

審査請求 有 請求項の数37 O L (全 71 頁)

(21)出願番号 特願2000-37981(P2000-37981)

(22)出願日 平成12年2月16日(2000.2.16)

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 寺沢 千明

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(72)発明者 石井 弘之

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(74)代理人 100105289

弁理士 長尾 達也

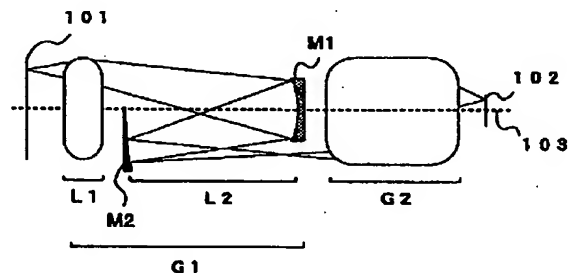
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法

(57)【要約】

【課題】瞳の遮光(中抜け)が起こらず、レンズの構成枚数が少なく、かつ高解像力と広い露光領域が確保でき、組立調整が容易な投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法を提供する。

【解決手段】物体の像を像面へ投影する投影光学系において、前記物体側からの光路順に、少なくとも前記物体の中間像を形成するための第1結像光学系と、該中間像を像面へ投影するための第2結像光学系とを有し、前記第1結像光学系と第2結像光学系とは共通の一直線の光軸に沿って配置しており、前記第1結像光学系がミラーを備え、該ミラーを介し該ミラーの有効径外を通過させた軸外光によって、物体の像を像面へ投影するように構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】物体の像を像面へ投影する投影光学系において、前記物体側から順に、前記物体の中間像を形成するための第1結像光学系と、該中間像を像面へ投影するための第2結像光学系とを有し、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系とは共通の一直線の光軸に沿って配置してあり、前記第1結像光学系が前記物体からの軸外光を反射し且つ集光する第1のミラーを有し、前記第1結像光学系が前記第1のミラーからの光を反射して前記第2結像光学系に入射させる第2のミラーを有するか、

或は前記第2結像光学系が前記第1のミラーからの光を前記像面側へ反射する第2のミラーを有し、該第2のミラーにより前記軸外光を前記第1のミラーの有効径外を通過させることを特徴とする投影光学系。

【請求項2】前記第1結像光学系の倍率 $\beta$ は、 $|\beta| \geq 1$ であることを特徴とする請求項1に記載の投影光学系。

【請求項3】前記第1結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の投影光学系。

【請求項4】前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする請求項3に記載の投影光学系。

【請求項5】前記第2結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項6】前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする請求項5に記載の投影光学系。

【請求項7】前記第1のミラーと第2のミラーの間に、レンズ群を有することを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項8】前記レンズ群が、負の屈折力を有し、前記第1結像光学系における正の屈折力を有する屈折レンズと、凹面鏡からなる第1のミラーとの間に配置されていることを特徴とする請求項7に記載の投影光学系。

【請求項9】前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に、前記第1結像光学系の瞳を前記第2結像光学系の瞳上へ投影するフィールド光学系を有し、前記第1結像光学系が少なくとも前記第1のミラーを含む正屈折力の第1ミラー群と前記第2のミラーを含む第2ミラー群の2つのミラー群を備え、前記第2ミラー群により反射された前記第1ミラー群からの光束を、前記第1ミラー群の有効径外を通過させるように構成したことを特徴とする請求項1に記載の投影光学系。

【請求項10】前記第2結像光学系は、レンズのみで構成され、正の屈折力を有することを特徴とする請求項9に記載の投影光学系。

【請求項11】前記第2結像光学系は、その倍率を $BG2$ としたとき、

$$-0.5 < BG2 < -0.05$$

を満足することを特徴とする請求項9または請求項10

に記載の投影光学系。

【請求項12】前記第1結像光学系は、その倍率を $BG1$ としたとき、

$$-40.0 < BG1 < -0.5$$

を満足することを特徴とする請求項9～11のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項13】前記フィールド光学系は、全てレンズで構成したことを特徴とする請求項9～12のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項14】前記フィールド光学系は、第1フィールドミラーと、第2フィールドミラーを含む第2フィールドミラー群を有し、前記第1ミラー群の有効径外を通過した軸外光を前記第1フィールドミラー、前記第2フィールドミラーの順に反射させた後に、前記第1フィールドミラーの光軸中心近傍を通過して前記第2結像光学系に入射するように構成されていることを特徴とする請求項9～12のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項15】前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凸面鏡としたことを特徴とする請求項14に記載の投影光学系。

【請求項16】前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凹面鏡としたことを特徴とする請求項14に記載の投影光学系。

【請求項17】前記第1結像光学系のベッツバル和を $P1$ 、前記フィールド光学系のベッツバル和を $Pf$ 、前記第2結像光学系のベッツバル和を $P2$ としたとき、

$$P1 < 0$$

$$Pf + P2 > 0$$

を満足することを特徴とする請求項9～16のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項18】前記物体と前記第1ミラーの近軸距離を $LM1$ 、前記物体から前記第1ミラーより前記物体側にある光学素子により形成する瞳共役点までの距離を $e$ としたとき、これらの関係が、

$$0.6 < e/LM1 < 2.5$$

を満足することを特徴とする請求項9～17のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項19】前記第1ミラーと前記第2ミラーの近軸距離を $LM2$ 、物体面から第1結像系による中間像までの光路に沿った近軸距離を $OIL$ としたとき、前記距離 $LM1$ との関係が、

$$0.5 < OIL / (LM1 + 2 \times LM2) < 2.0$$

を満足することを特徴とする請求項9～18のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項20】前記距離 $LM1$ と前記距離 $LM2$ との関係が、

$$0.2 < LM2/LM1 < 0.95$$

を満足することを特徴とする請求項9～19のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項21】前記投影光学系に関する物体面から像面までの距離を $L$ としたとき、前記距離 $LM1$ との関係が、

$$0.15 < LM1/L < 0.55$$

を満足することを特徴とする請求項9～20のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項22】前記第1ミラー群の倍率を $BGM1$ としたとき、

$$-2.0 < 1/BGM1 < 0.4$$

を満足することを特徴とする請求項9～21のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項23】前記第1結像光学系は最も前記物体側に正屈折力のレンズ群を配置したことを特徴とする請求項9～22のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項24】前記第1ミラー群は、前記物体側から順に負屈折力のレンズ、前記第1ミラー、前記負屈折力のレンズを有することを特徴とする請求項9～23のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項25】第2ミラー群は、前記物体側からの順に光レンズ、前記第2ミラー、前記レンズを有することを特徴とする請求項9～24のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項26】前記物体からの軸外光束が、前記第1ミラー群に入射する前に前記第2ミラー群のレンズを通過することを特徴とする請求項9～25のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項27】前記第1結像光学系の前記第1ミラー群の像面側直後に、前記フィールド光学系に属する正レンズを配置したことを特徴とする請求項9～26のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項28】前記第2フィールドミラーと前記第1フィールドミラーの距離を $LFM1$ 、第2フィールドミラーと像面の距離を $LFM2$ としたとき、 $0.45 < LFM1/LFM2 < 0.8$ を満足することを特徴とする請求項14～16のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項29】前記第2フィールドミラー群は、前記物体側から順にレンズ、前記第2フィールドミラー、前記レンズを有することを特徴とする請求項14～16、請求項28のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項30】前記第1結像系の第1ミラーと前記フィールド光学系の第2フィールドミラーの間にフィールド光学系に属する正レンズを配置し、第1結像系の第2ミラーで反射した光束が前記正レンズを通り第1フィールドミラーで反射するように構成されていることを特徴とする請求項14～16、請求項28、請求項29のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項31】前記物体側と前記像面側の双方がテレセントリックであることを特徴とする請求項1～30のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項32】前記投影光学系の倍率は、縮小倍率であ

ることを特徴とする請求項1～31のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項33】前記第1結像光学系による中間像の位置に、前記像面での結像領域の大きさ及び／又は形状を変換する可変視野絞りを配置したことを特徴とする請求項1～32のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項34】前記第2結像光学系中に絞りを有することを特徴とする請求項1～33のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項35】請求項1～34のいずれか1項に記載の投影光学系によってマスクのパターンを基板上に投影する投影露光装置。

【請求項36】請求項35に記載の投影露光装置を用いて前記マスクとしてのレチクルのデバイスパターンを前記基板としてのウェハに露光する段階と、該露光したウェハを現像する段階とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項37】前記露光に $ArF$ エキシマレーザ又は $F2$ レーザからのレーザ光を用いることを特徴とする請求項36に記載のデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法に関し、特にレチクルパターンを半導体ウェハに投影露光する投影光学系に、反射ミラーを用いた反射屈折投影光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、集積回路の高集積化が進むに従い、投影露光光学系に対する要求仕様、要求性能もますます厳しいものになってきている。一般に高い解像力を得るためには露光波長の短波長化、 $NA$ の高 $NA$ 化が行われている。しかしながら露光波長の短波長化が $193\text{nm}$  ( $ArF$ エキシマレーザ光)や $157\text{nm}$  ( $F2$ エキシマレーザ光)といった領域に達すると使用可能なレンズ材料が石英と蛍石に限られてくる。これは主に透過率の低下に起因するものである。従来、例えば特開昭10-79345号公報等に掲示されているような全て屈折レンズで構成され、レンズ構成枚数が多く全硝材厚が大きい光学系では、ウェハ上での露光量が低下するためスルーputが低下することとなり、またレンズの熱吸収による焦点位置の変動、収差変動などの問題(熱収差)が生じてくる。露光波長が $193\text{nm}$ では石英と蛍石が使用されるが、それらの分散の差が大きくないため色収差の補正が難しく、完璧に補正しようとすると色消し面の曲率半径が小さい色消しレンズが数個必要になるため、光学系全硝材厚の増大を招き、前述の透過率、熱収差の問題が起こってくる。また現状、蛍石に関しては、投影光学系の設計性能を保証するに耐えうる特性を有するものを製造するのが難しく、さらに大口径のもの

を製造するのが困難な状況である。このことは色補正をさらに難しくし、コストアップの要因となっている。さらに露光波長が157nmとなると使用可能なレンズ材料は蛍石のみとなり単一材料だけでは色収差を補正することはできない。いずれにしても屈折系だけで投影光学系を構成することが困難になってくる。

【0003】そのため、光学系中にミラーを使用し反射系とすることにより、前述の透過率、色補正といった課題を回避しようとする提案が種々なされている。例えば、反射系だけで構成されている反射投影光学系が特開平9-211332号公報、特開平10-90602号公報等で開示されている。また、反射系と屈折系を組み合わせた反射屈折投影光学系が、米国特許第5,650,877号明細書、特開昭62-210415号公報、特開昭62-258414号公報、特開昭63-163319号公報、特開平2-66510号公報、特開平3-282527号公報、特開平4-234722号公報、特開平5-188298号公報、特開平6-230287号公報、特開平8-304705号公報等で開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このような露光波長の短波長化や高NA化に対応し、反射系を含んだ投影光学系構築するとき、色収差補正が可能なことは当然として、理想的には、像面上で十分な大きさの結像領域が得られ、ミラー、レンズといった光学素子の枚数が少なく、ミラーへの入反射角が大きくなり、十分な像側作動距離を確保でき、簡素な構成が望ましい。像面上で十分な大きさの結像領域幅が得られれば、走査型投影露光装置ではスループット上有利であり、露光変動を抑えることができる。枚数が少なければ、ミラー、レンズといった光学素子を製造する上での工程負担を軽減でき、全硝材厚を小さくすることにもなるので光量損失も減少させることができ、さらに装置のフットプリントの増大を抑制することにもなり、また膜による光量損失を減少させることにもなる。特に露光波長が157nm(F2エキシマレーザ光)になるとミラーの反射膜での光量損失も無視できなくなるのでなおよい。ミラーへの入反射角が大きくなければ反射膜の角度特性による光量変化の影響を抑制できる。十分な像側作動距離を確保できれば、装置のオートフォーカス系やウェハーステージの搬送系などを構成する上で好ましい。簡素な構成であれば、メカ鏡筒等も複雑化させることはなく組立製造上のメリットがある。以上のような視点から従来例について検証すると、まず、米国特許第5,650,877号明細書では、光学系中にマンジンミラーと屈折部材を配置して、レチクルの像をウェハに露光するものであるが、この光学系は、使用する全ての画角において瞳の中心部分の遮光(中抜け)が起こるとともに、露光領域が大きくなり、露光領域を大きく

しようすると瞳の中心部分の遮光が大きくなり好ましくなく、さらに、マンジンミラーの屈折面がビームスプリット面を形成しており、その面を通過することに光量は半分になり、像面(ウェハ面)では、10%程度に低下してしまうという点等にも問題を有している。また、特開平9-211332号公報、特開平10-90602号公報では、反射系のみによる構成を基本としているが、収差的(ベッツバール和)にもミラー配置の上でも像面上での結像領域幅を十分に確保することが難しく、また主に像面近傍のパワーが大きい凹面鏡が結像作用を有する構成となっているので高NA化が困難であり、該凹面鏡の直前位置に凸面鏡が配置されるため、十分な像側作動距離を確保できないという問題がある。また、特開昭62-210415号公報、特開昭62-258414号公報は、カセグレン型やシュワルツシルト型のミラー系を応用し、ミラー中心部に開口を設けることにより瞳の中抜けを生じさせ瞳の周辺部分のみを結像に寄与させる光学系を提案しているが、瞳の中抜けの結像性能への影響が懸念され、また瞳の中抜けを小さくしようとする必然的にミラーのパワーが大きくなるのでミラーへの入反射角も大きくなり、さらに高NA化を図るとミラー径が著しく増大してしまう。また、特開昭63-163319号公報、特開平5-188298号公報、特開平6-230287号公報では、光路の折れ曲がりにより構成が複雑化しており、中間像を最終像へ結像させる光学群のパワーの大部分を凹面鏡が担っているため構成上高NA化が困難であり、凹面鏡と像面の間に配置されているレンズ系の倍率が縮小系で正の符号であるため、像側作動距離が十分に確保できない。また、物像面を対向させるためには、収差補正には何ら寄与せず光路を折り曲げるためだけの目的で2枚の平面鏡を必要とし、露光波長が157nmになると光量損失の上からも好ましくない。さらに構成上、光路分割の必要から結像領域幅を確保するのも困難であり、光学系が大型化しているのでフットプリント上も好ましくない。また、特開平2-66510号公報、特開平3-282527号公報では、まず光路がビームスプリッターにより分割されるので、鏡筒構造が複雑化してしまう。そして径が大きいビームスプリッターを必要としこれがプリズム型の場合はその厚みにより光量損失が大きい。高NAに際してはさらに径が大きくなるので光量損失もますます大きくなってしまふ。ビームスプリッターが平板型の場合は軸上光線においても非点収差、コマ収差が発生してしまい問題がある。また熱吸収による非対称収差の発生や光束分割面での特性変化による収差の発生を招き、製造面で精度良くビームスプリッターを作成することも難しい。

【0005】さて、特開平4-234722号公報、特開平8-304705号公報は、以上説明した従来例の問題点をかなり解決できているが、光路を折り曲げることにより凹面鏡からの光路を分割して、偏芯光学的

な取扱いが必要となるため、構造が複雑で組み立て調整等も難しい。

【0006】そこで、本発明は、上記特開平4-234722号公報、特開平8-304705号公報における光学系を改善し、メカ構造が簡単に組み立て調整が容易な投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法を提供することを目的とするものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を達成するため、つぎの(1)～(37)のように構成した投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法を提供する。

(1) 物体の像を像面へ投影する投影光学系において、前記物体側から順に、前記物体の中間像を形成するための第1結像光学系と、該中間像を像面へ投影するための第2結像光学系とを有し、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系とは共通の一直線の光軸に沿って配置しており、前記第1結像光学系が前記物体からの軸外光を反射し且つ集光する第1のミラーを有し、前記第1結像光学系が前記第1のミラーからの光を反射して前記第2結像光学系に入射させる第2のミラーを有するか、或は前記第2結像光学系が前記第1のミラーからの光を前記像面側へ反射する第2のミラーを有し、該第2のミラーにより前記軸外光を前記第1のミラーの有効径外を通過させることを特徴とする投影光学系。

(2) 前記第1結像光学系の倍率 $\beta$ は、 $|\beta| \geq 1$ であることを特徴とする上記(1)に記載の投影光学系。

(3) 前記第1結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする上記(1)または上記(2)に記載の投影光学系。

(4) 前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする上記(3)に記載の投影光学系。

(5) 前記第2結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする上記(1)～(4)のいずれかに記載の投影光学系。

(6) 前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする上記(5)に記載の投影光学系。

(7) 前記第1のミラーと第2のミラーの間に、レンズ群を有することを特徴とする上記(1)～(6)のいずれかに記載の投影光学系。

(8) 前記レンズ群が、負の屈折力を有し、前記第1結像光学系における正の屈折力を有する屈折レンズと、凹面鏡からなる第1のミラーとの間に配置されていることを特徴とする上記(7)に記載の投影光学系。

(9) 前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に、前記第1結像光学系の瞳を前記第2結像光学系の瞳上へ投影するフィールド光学系を有し、前記第1結像光学系が少なくとも前記第1のミラーを含む正屈折力の第1ミラー群と前記第2のミラーを含む第2ミラー群の2

つのミラー群を備え、前記第2ミラー群により反射された前記第1ミラー群からの光束を、前記第1ミラー群の有効径外を通過させるように構成したことを特徴とする上記(1)に記載の投影光学系。

(10) 前記第2結像光学系は、レンズのみで構成され、正の屈折力を有することを特徴とする上記(9)に記載の投影光学系。

(11) 前記第2結像光学系は、その倍率をBG2としたとき、

$$-0.5 < BG2 < -0.05$$

を満足することを特徴とする上記(9)または上記(10)に記載の投影光学系。

(12) 前記第1結像光学系は、その倍率をBG1としたとき、

$$-40.0 < BG1 < -0.5$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(11)のいずれかに記載の投影光学系。

(13) 前記フィールド光学系は、全てレンズで構成したことを特徴とする上記(9)～(12)のいずれかに記載の投影光学系。

(14) 前記フィールド光学系は、第1フィールドミラーと、第2フィールドミラーを含む第2フィールドミラー群を有し、前記第1ミラー群の有効径外を通過した軸外光を前記第1フィールドミラー、前記第2フィールドミラーの順に反射させた後に、前記第1フィールドミラーの光軸中心近傍を通過して前記第2結像光学系に入射するように構成されていることを特徴とする上記(9)～(12)のいずれかに記載の投影光学系。

(15) 前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凸面鏡としたことを特徴とする上記(14)に記載の投影光学系。

(16) 前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凸面鏡としたことを特徴とする上記(14)に記載の投影光学系。

(17) 前記第1結像光学系のベッツバル和をP1、前記フィールド光学系のベッツバル和をPf、前記第2結像光学系のベッツバル和をP2としたとき、

$$P1 < 0$$

$$Pf + P2 > 0$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(16)のいずれかに記載の投影光学系。

(18) 前記物体と前記第1ミラーの近軸距離をLM1、前記物体から前記第1ミラーより前記物体側にある光学素子により形成する瞳共役点までの距離をeとしたとき、これらの関係が、

$$0.6 < e/LM1 < 2.5$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(17)のいずれかに記載の投影光学系。

(19) 前記第1ミラーと前記第2ミラーの近軸距離をLM2、物体面から第1結像系による中間像までの光路

に沿った近軸距離を $OIL$ としたとき、前記距離 $LM1$ との関係が、

$$0.5 < OIL / (LM1 + 2 \times LM2) < 2.0$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(18)のいずれかに記載の投影光学系。

(20) 前記距離 $LM1$ と前記距離 $LM2$ との関係が、

$$0.2 < LM2 / LM1 < 0.95$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(19)のいずれかに記載の投影光学系。

(21) 前記投影光学系に関する物体面から像面までの距離を $L$ としたとき、前記距離 $LM1$ との関係が、

$$0.15 < LM1 / L < 0.55$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(20)のいずれかに記載の投影光学系。

(22) 前記第1ミラー群の倍率を $BGM1$ としたとき、

$$-2.0 < 1 / BGM1 < 0.4$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(21)のいずれかに記載の投影光学系。

(23) 前記第1結像光学系は最も前記物体側に正屈折力のレンズ群を配置したことを特徴とする上記(9)～(22)のいずれかに記載の投影光学系。

(24) 前記第1ミラー群は、前記物体側から順に負屈折力のレンズ、前記第1ミラー、前記負屈折力のレンズを有することを特徴とする上記(9)～(23)のいずれかに記載の投影光学系。

(25) 第2ミラー群は、前記物体側からの順に光レンズ、前記第2ミラー、前記レンズを有することを特徴とする上記(9)～(24)のいずれかに記載の投影光学系。

(26) 前記物体からの軸外光束が、前記第1ミラー群に入射する前に前記第2ミラー群のレンズを通過することを特徴とする上記(9)～(25)のいずれかに記載の投影光学系。

(27) 前記第1結像光学系の前記第1ミラー群の像面側直後に、前記フィールド光学系に属する正レンズを配置したことを特徴とする上記(9)～(26)のいずれかに記載の投影光学系。

(28) 前記第2フィールドミラーと前記第1フィールドミラーの距離を $L_{FM1}$ 、第2フィールドミラーと像面の距離を $L_{FM2}$ としたとき、

$$0.45 < L_{FM1} / L_{FM2} < 0.8$$

を満足することを特徴とする上記(14)～(16)のいずれかに記載の投影光学系。

(29) 前記第2フィールドミラー群は、前記物体側から順にレンズ、前記第2フィールドミラー、前記レンズを有することを特徴とする上記(14)～(16)、上記(28)のいずれかに記載の投影光学系。

(30) 前記第1結像系の第1ミラーと前記フィールド光学系の第2フィールドミラーの間にフィールド光学系

に属する正レンズを配置し、第1結像系の第2ミラーで反射した光束が前記正レンズを通り第1フィールドミラーで反射するように構成されていることを特徴とする上記(14)～(16)、上記(28)、上記(29)のいずれかに記載の投影光学系。

(31) 前記物体側と前記像面側の双方がテレセントリックであることを特徴とする上記(1)～(30)のいずれかに記載の投影光学系。

(32) 前記投影光学系の倍率は、縮小倍率であることを特徴とする上記(1)～(31)のいずれかに記載の投影光学系。

(33) 前記第1結像光学系による中間像の位置に、前記像面での結像領域の大きさ及び／又は形状を可変とする可変視野絞りを配置したことを特徴とする上記(1)～(32)のいずれかに記載の投影光学系。

(34) 前記第2結像光学系中に絞りを有することを特徴とする上記(1)～(33)のいずれかに記載の投影光学系。

(35) 上記(1)～(34)のいずれかに記載の投影光学系によってマスクのパターンを基板上に投影する投影露光装置。

(36) 上記(35)に記載の投影露光装置を用いて前記マスクとしてのレチクルのデバイスパターンを前記基板としてのウェハに露光する段階と、該露光したウェハを現像する段階とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

(37) 前記露光にArFエキシマレーザ又はF2レーザからのレーザ光を用いることを特徴とする上記(36)に記載のデバイス製造方法。

30 【0008】

【発明の実施の形態】本発明の一つの実施の形態としては、上記構成を用いて、例えば図1に示す反射屈折投影光学系を構成することができる(実施の形態1)。101は第1の物体(レチクル)、102は第2の物体(ウェハ)、103は本実施の形態1の光学系の光軸である。ここでの光学系は、物体側から順に、少なくとも第1結像光学系G1と第2結像光学系G2よりなる。第1結像光学系G1は、少なくとも物体側より順に屈折部材を有するL1、第1のミラーM1、第2のミラーM2により構成されており、第1の物体101からの光束を第1結像光学系G1にて結像し、中間像を形成する。その際、第1のミラーM1の有効径外を、第1の物体101からの軸外光束が通過する構成をとっている。そして第1結像光学系G1により結像した中間像を、屈折部材により構成されている第2結像光学系G2により、第2の物体102上に所定の倍率にて結像する。以上のような構成とすることで、本実施の形態1における光学系は一つの光軸103を有し、瞳の遮光のない軸外光束を結像する多数回結像光学系を達成している。

50 【0009】第1結像光学系G1は、少なくとも1枚以



上の屈折レンズと2枚のミラーにより構成されている。屈折レンズ群L1は、主に物体側のテレセン度を確保しかつ歪曲収差の補正に貢献するとともに、第1のミラーM1に光束が過度に広がらないように入射させている。第2のミラーM2は、第1のミラーM1と光軸103に対して対向して配置され、第1のミラーM1からの光束を光軸103の正方向に折り返し、第1のミラーM1の有効径外へと光束を導いている。尚、第1の物体101から第2の物体102の方向を正方向としている。このような構成を取ることにより、瞳の中抜けを起こすことなく、また光軸を曲げることなく第2結像光学系に光束を運ぶことが可能となる。

【0010】屈折レンズ群L1は、正の屈折力を有するのが望ましい。正の屈折力を有することで、第1のミラーM1への入射高さを過度に大きくしないとともに、第1のミラーM1への光軸に対する入射角を大きくすることができ、第2のミラーM2での光束の分離を容易にできる。また、第1のミラーM1は凹面鏡にて構成するのが好ましい。本実施の形態1の光学系において、第1結像光学系G1における瞳は第1のミラーM1の前後に存在し、その近辺では第1結像光学系G1において各画角の光束の幅が大きくなるとともに、画角の違いによる光束のばらつきが少なくなる。従って、第1のミラーM1は、正のパワーを有することで、即ち凹面鏡にて構成することで、屈折レンズ群L1からの各画角の光束を収束させ、第2のミラーM2以後の光束の分離をより容易にできるとともに像面湾曲をオーバー方向に発生させて、第2結像光学系G2におけるアンダーの像面湾曲を打ち消す効果を有することができる。

【0011】また、第2のミラーM2は、第1のミラーM1からの光束を光軸103の正方向に折り返す役割を有している。尚、第2のミラーは凹面鏡でも、平面ミラーでも、或いは凸面ミラーでも構わない。パワー配置の違いによって必要な形状を有すればよい。但し、第1結像光学系G1において、第2結像光学系G2の像面湾曲及び諸収差を打ち消すためには、第2のミラーM2も凹面鏡にて構成すれば第1のミラーM1の屈折力を分担するため、より望ましい。

【0012】第2結像光学系G2は、第1結像光学系G1により結像した中間像を第2の物体上に結像する機能を有する。第2結像光学系G2は、第1結像光学系G1により発生したオーバー方向の像面湾曲等の諸収差をキャンセルする関係にある。この第2結像光学系G2は、屈折レンズ系にて構成している。最終結像光学系を屈折レンズ系にて構成することにより、高い開口数を有する光学系を容易に構成することが可能となる。また、この第2結像光学系G2を縮小倍率とすることにより、第1結像光学系G1における光束の幅が過度に増すことを防ぐとともに、第1のミラーM1と第2のミラーM2による光束の分離をより容易にしている。また、この第2結

像光学系G2中に開口絞りを有している。

【0013】尚、屈折レンズ群Rを、第1のミラーM1及び第2のミラーM2の2枚のミラーを含む群L2中に配置してもよい。図2は、図1中に屈折レンズ群Rが配置されたときの概略図を示す。ここで、図1と同じ番号のものは同一の機能を有するものとする。屈折レンズ群Rが屈折レンズ群L1と第1のミラーM1の間に配置されるといわれる往復光学系となる。即ち、屈折レンズ群Rには、屈折レンズ群L1により屈折された光束が入射するとともに、第2のミラーM1にて反射された光束も通過することになる。また、この屈折レンズ群Rを有する場合には、その屈折力が負であることがより望ましい。この屈折レンズ群Rの屈折力を負とすることで、第1のミラーM1にて負担しているベッツパル和を分担するとともに、全系の色収差の補正に寄与することが可能である。従って、屈折レンズ群Rを構成する場合には、負の屈折力を有することが望ましい。また同時に、主に全系の球面収差やコマ収差の補正にも寄与することができる。上述の通り、主に軸上色収差の補正等のためには、第1のミラーM1付近に屈折レンズ群Rを配置するのが好ましいが、第2のミラーR付近に配置しても構わない。即ち、第1のミラーM1からの反射光束と第2のミラーの反射光束とを透過する位置に配置しても構わない。また、屈折レンズ群Rは、2枚のミラーを含む群L2の範囲において、どこに配置しても、又何枚配置しても構わない。本実施の形態における投影光学系は、特に2回結像光学系にて達成した場合、正の倍率を有している。実施の形態1においては、以上の様な構成をとることにより、瞳の中心部の遮光を有することなく、構成枚数が少なくかつ高解像力と広い露光領域を確保して組立調整も容易な反射屈折光学系を達成することができる。

【0014】また、本発明の別の実施の形態としては、例えば図3に示す反射屈折投影光学系を構成することができる（実施の形態2）。これは、物体面のうち像面まで至り結像に寄与する領域は光軸外の半円弧状（リングフィールド系）で、瞳面上の光束中心部に欠られは皆無であり、該投影光学系は物体側からの光路順に、物体の中間像を形成する役割を有する第1結像系Gr1と、該第1結像系Gr1の瞳を第2結像系Gr2の瞳上へ投影するフィールド光学系Grfと、像面の直前に位置し最終像を形成する第2結像系Gr2を有し、第1結像系Gr1は第1ミラーM1を含む正屈折力の第1ミラー群GM1、第2ミラーM2を含む第2ミラー群GM2という2つのミラー群を有し、物理的に第2ミラー群GM2は第1ミラー群GM1よりも物体側に配置され、第1ミラーM1は物体側へ凹面を向けた凹面鏡であり、物体側からの光束が第1結像系Gr1中で第1ミラーM1、第2ミラーM2の順に反射された後に、該光束は第1ミラー群GM1の有効径の外側を通過して像面側へ進行し、順に

該フィールド光学系Grf、該第2結像系Gr2を通過することにより該投影光学系全系は1直線の光軸上に形成され、物体面と像面は該光軸の両端に対向して位置し、投影光学系全系の倍率は縮小倍率であることを特徴としている。

【0015】図3は本実施の形態2の基本的構成の概略図、図12～図45は後述するように本実施の形態2を適用した実施例5～実施例21を示す図である。全ての実施例において、第1結像系Gr1は2枚のミラーを有しており、第2結像系Gr2は屈折レンズ系のみで構成されている。図12から図19はフィールド光学系Grfがすべてレンズ系の場合であり、図20から図28はフィールド光学系Grfが2枚のミラーを有する場合である。

【0016】一般に、ミラーを用いると光学系は次のような作用を有することになる。

a. ミラー面では、色収差が発生しない。これにより凹レンズと凹面ミラーを組み合わせることでいわゆるマンジンミラーとすれば正のパワーとしながら、過剰の色消しを発生させることができる。

b. ミラーが有するパワーとベッツバル和の関係は、通常の屈折レンズとは逆である。これにより例えば凹面ミラーは、正のパワーを有しながらもベッツバル和は負の値を有するので、光学系中のベッツバル和補正のための負レンズのパワー負担を軽減できる。

c. 光線が反射する。これにより物像面を対向させるために、光学系が複雑化する。例えば、瞳の中抜け、リングフィールド、光路折り曲げ等である。

【0017】ここでは、上述した目的を達成するために、上記ミラーの作用を効果的に利用し光学系に反映させており、図3に示すように、第1結像系、フィールド光学系、第2結像系と、ミラーを用いながらも一本の光軸上に投影光学系を配置した簡素な構成になっている。これによるメリットは大きく、光路を折り曲げる必要がないので、鏡筒構造を従来の屈折レンズ系と同様な構造とすることができ、また光学素子の自重変形についても、重力方向が光軸方向と一致しているので非対称な変形が発生せず、非対称収差が発生しにくい。周辺の組立調整、測定機器関連等の製造上のインフラ設備をそのまま流用することが可能となり、コスト上のメリットが大きい。さらに、装置のフットプリントも従来の屈折レンズ系と同程度となるので、占有面積も従来と変わらずユーザーにとってメリットが大きい。これを可能にしているのは、軸外光のみを結像に寄与させるという光学系コンセプト（リングフィールド系）を設定した上で、第1結像系Gr1において上記c. の作用を2回使用し2枚のミラーで2回の反射を行い、物体からの光束を第1ミラー群GM1の有効径外を通して像面側へ進行させているという点にある。これにより続く光束はフィールド光学系Grf、第2結像系Gr2を通り像面上へ到達し、光

軸が1本の光学系を構成できるのである。

【0018】第2結像系Gr2はすべて屈折レンズ系で構成し正屈折力を有することにより、高NA化に対応可能とし、さらに像側作動距離を確保しやすくしている。仮に第2結像系Gr2が凹面ミラーを有している場合は、従来例で説明をしたように高NA化、像側作動距離の確保が困難になってくる。フィールド光学系Grfは図3のAに示すように全て屈折レンズ系で構成することも可能であるし、Bに示すように2枚のミラーを有する構成も可能である。後に実施例で示すように正レンズFL1は、パワー配置によっては不要とすることも可能である。またBの場合、第1フィールドミラーFM1は凹面鏡であり、第2フィールドミラーFM2は凸面鏡という構成となっているが、第2フィールドミラーFM2は凹面鏡で構成することも可能である。色補正に関しては第1結像系Gr1の色消し状況を、第1ミラー群GM1を負屈折力のレンズLN1と凹面の第1ミラーM1で構成することにより、上記a. の作用を利用して色消し過剰とすることができるので、レンズ使用種類が1種類であっても色収差補正が可能となっている。これは特にArf、F2光源の場合には、大きなメリットである。

【0019】光学素子の小枚数化や、小型軽量化に関しては、まず本実施形態では軸外光のみを使用したリングフィールド系であるので、瞳の中抜けを生じるカセグレン型やシュワルツシルト型を応用した光学系よりもミラーの径を小さくすることができ、またミラー枚数も本発明の構成によれば最少2枚と少ない。

【0020】また、第1結像系Gr1の第1ミラー群GM1にて上記b. の作用により、第1結像系Gr1では大きな負のベッツバル和となるので、従来の屈折レンズ系のようにベッツバル和補正用の負屈折力レンズを多用することなしに、フィールド光学系Grf、第2結像系Gr2を構成することができ、レンズの枚数を少なくすることができる。さらに、第1結像系Gr1の第2ミラー群GM2をレンズLP1とミラーM2で構成すれば、第2ミラー群GM2のトータルのパワーは不変でありながら、レンズLP1と第2ミラーM2のパワー分担を変化させることにより、いかようにもベッツバル和を制御可能となるので、収差補正の自由度が増加し光学素子枚数の削減に貢献する。これは図3のBに示す第2フィールドミラーFM2においても同様に、第2フィールドミラーFM2とレンズLFを組み合わせ第2フィールドミラー群とすることによりベッツバル和補正の自由度が増加し光学素子枚数の削減に貢献する。そして、第1結像系Gr1の大きな負のベッツバル和を打ち消すべく第2結像系Gr2の正の屈折力も大きくなる必然性が生じ、かつ、第1結像系Gr1から射出する主光線高が第1ミラー群GM1の外側を通るため高い位置でフィールド光学系Grfに入射し、フィールド光学系Grfから第2結像系Gr2に入射する主光線の角度が大き

くなり、これにより像側テレセントリックを保つためには、やはり第2結像系Gr2の正の屈折力が大きくなる必然性が生じ、この2つの必然性から矛盾することなく第2結像系Gr2の正の屈折力を大きくすることができるので第2結像系Gr2の有効径は小さくなり、小型軽量化がなされる。

【0021】ミラーへの入反射角に関して、本実施の形態ではリングフィールド系であるので、瞳の中抜けを生じるカセグレン型やシュワルツシルト型を応用した光学系よりもミラーへの入反射角を小さくすることができ、また第1結像系Gr1では第1ミラーM1を瞳共役点近傍に配置し、第2ミラーM2で反射した光束が第1ミラー群GM1の有効径外の即近傍を通過するようにしており、ミラー上の光軸から離れた高い位置で反射させることがないので、第1ミラーM1、第2ミラーM2とも入反射角が極端に大きくなることはない。また、フィールド光学系GrfのBの場合では、第1フィールドミラーFM1と第2フィールドミラーFM2の間隔をできる限り確保しており光束幅も狭いので、これも入反射角が極端に大きくなることはない。像面上での結像領域幅に関しては、有効光束をできるだけ確保するようにミラーを配置する必要があるが、フィールド光学系Grfが屈折レンズ系のためのAの場合でもミラーを含むBの場合でも第1結像系Gr1においては収差補正の許容範囲で物高を高くすればよいので、障害にはならない。また、フィールドミラーを有するBのフィールド光学系Grfでは、光束幅が狭いので有効光束が欠られないようにすることは容易であり、これも障害にならない。したがって十分に結像領域幅を確保することは可能である。

【0022】また、第1結像系Gr1において物体面の直後に正レンズ群G1を配置することにより、歪曲収差等の補正に効果を発揮し、かつ物体側テレセントリック性を良好に保つことが可能となる。したがって物体面（レチクル）や像面（ウェハー）の反り、デフォーカスによる倍率変化を小さくするには正レンズ群G1と第2結像系Gr2とによって、物像界で両側テレセントリックな光学系とするのが良い。なお、本発明では、図3に示すように第2ミラーM2は光束分離のためには半円盤状とする必要があり、正レンズ群G1は半円盤状でも、レンズ製造、レンズ保持の容易さから円盤状でも良く、

$$0.5 < OIL / (LM1 + 2 \times LM2) < 20 \dots (5)$$

を満足すること、前記距離LM1と前記距離LM2との関係が、

$$0.2 < LM2 / LM1 < 0.95 \dots (6)$$

を満足すること、前記投影光学系に関する物体面から像面までの距離をLとしたとき、前記距離LM1との関係が、

$$0.15 < LM1 / L < 0.55 \dots (7)$$

を満足すること、前記第1ミラー群の倍率をBGM1としたとき、

\*さらに光軸の下方表面部分に第2ミラーM2を形成する構成としても良い。同様の理由で、レンズLP1においても半円盤状としているが円盤状でも良く、このときは光束はレンズLP1を3度通過することになる。このとき同様にレンズLP1の下方表面部分に第2ミラーM2を形成する構成としても良い。同様に第1ミラーM1もレンズLN1の裏面鏡として構成しても良く、本発明で使用されるミラーは、どのミラーであっても収差補正の観点からも、裏面鏡であっても良い。また図3のA、Bに示すようにフィールド光学系は、第1結像系Gr1の第1ミラー群GM1の像面側背後に配置される正レンズFL1を有することで、径の増大化を抑制することができ、また正レンズFL1の第1面を2重曲率にする等不連続な形状にする必要が生じるが、第1ミラーM1を正レンズFL1の中心部分に形成しても良い。さらに、第1結像系Gr1の中間像の位置に像面上の結像領域が可変となる視野絞り配置することもできる。これにより、照明系（不図示）を簡素化することができる。

【0023】そして、本実施の形態2において、光学系を構成する上では、さらに以下の条件を満足することが好ましい。第2結像系Gr2の倍率をBG2とすると

$$-0.5 < BG2 < -0.05 \dots (1)$$

を満足すること、第1結像系Gr1の倍率をBG1とすると

$$-40.0 < BG1 < -0.5 \dots (2)$$

を満足すること、第1結像系Gr1のベッツパル和をP1、フィールド光学系Grfのベッツパル和をPf、第2結像系Gr2のベッツパル和をP2としたとき、

$$P1 < 0 \dots (3)$$

$$Pf + P2 > 0$$

を満足すること、前記物体と前記第1ミラーの近軸距離をLM1、前記物体から前記第1ミラーより前記物体側にある光学素子により形成する瞳共役点までの距離をeとしたとき、これらの関係が、

$$0.6 < e / LM1 < 2.5 \dots (4)$$

を満足すること、前記第1ミラーと前記第2ミラーの近軸距離をLM2、物体面から第1結像系による中間像までの光路に沿った近軸距離をOILとしたとき、前記距離LM1との関係が、

$$0.5 < OIL / (LM1 + 2 \times LM2) < 20 \dots (5)$$

$$-2.0 < 1 / BGM1 < 0.4 \dots (8)$$

を満足することである。

【0024】条件式(1)は、高NA化に対応しながらも、バックフォーカス（像側作動距離）を確保でき良好な結像性能を得ることができるように第2結像系Gr2の倍率を適正な範囲に規定するものである。まず、全範囲において負の値を持つことによりバックフォーカスの確保を容易としている。ここで、下限を越えると、第2結像系Gr2のパワーが小さくなるため第2結像系の径

が増大したり、第2結像系Gr2に対する仮想物体高が低くなってしまうため、フィールド光学系Grfを構成する各群のパワーが大きくなることによって、歪曲収差、像面湾曲の補正が困難になったり、または第1結像系Gr1の倍率が縮小傾向になりすぎて、第2ミラーM2からの反射光が第1ミラー群GM1と干渉する不具合が生じたりして、パワー配置的に困難になり好ましくない。逆に上限を越えると、第2結像系Gr2のパワーが増大するため収差補正が困難になったり、またフィールド光学系Grfの径が増大したりして好ましくない。

【0025】条件式(2)は、第1結像系Gr1のパワーを適正に保ちながら、第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1と干渉することなしに効率的に通過するように、第1結像系Gr1の倍率を規定するもので、下限を越えると、第1ミラー群GM1の外側で光束幅が大きくなってフィールド光学系Grfの増大化を招いたり、第2結像系Gr2のパワーが増大したりして収差補正が困難になってくるので好ましくない。次に上限を越えると、第1結像系Gr1のパワーが増大し、収差補正が困難になったり、第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1と干渉する不具合が生じ好ましくない。なお条件式(2)の下限は-5.0であればより好ましい。

【0026】条件式(3)は、光学系全体の像面湾曲を規定するベッツパール和に関するもので、全系としてのベッツパール和は略0とすることが望ましいが、本実施の形態においては、第1結像系Gr1のベッツパール和は第1ミラー群GM1の存在によって大きな負の値を有し、これを打ち消すようにフィールド光学系Grfのベッツパール和と第2結像系Gr2のベッツパール和の総和は大きな正の値を有する。この条件を満足しない場合は、ベッツパール和を補正するために、レンズ枚数が増大したり、像面湾曲を補正することが困難となり好ましくない。

【0027】条件式(4)は、第1結像系の瞳共役点と第1ミラーM1の位置関係に関して規定するもので、高次の歪曲収差や像面湾曲の低減、前述したミラー入射角の低減等を考慮するとその位置関係はほぼ一致させることが望ましい。ここで下限を越えると、各物高からの主光線が第1ミラーM1で反射する高さが異なってしまうため、高次の歪曲収差、像面湾曲が増大してしまう。また、第1ミラー群GM1の径も大きくなってしまいうので、第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1と干渉してしまう不具合が生じ好ましくない。上限を越えても、同様に各物高からの主光線が第1ミラーM1で反射する高さが異なってしまうため、高次の歪曲収差、像面湾曲が増大してしまう。また、第2ミラーM2からの反射光束の角度が光軸に対し大きくなるのでフィールド光学系Grfのパワー負担が大きくなってしまい収差補正を困難にさせるので好ましくない。

【0028】条件式(5)は、第1結像系Gr1による中間像と第1ミラーM1の位置関係に関して規定するもので、第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1と干渉することなしに効率的に像面側に通過するようにしており、図3に示すようにほぼ第1ミラーM1の外側で中間像を形成するようにするのが好ましい。したがって、この範囲を越えると、第1ミラーM1の外側で光束幅が大きくなるので、フィールド光学系Grfにおいて径が増大したり、収差が増加したりして好ましくない。特に下限を越えると、第1結像系Gr1の倍率が縮小傾向になりすぎるため第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1と干渉する不具合が生じたり、第1ミラーM1、第2ミラーM2のパワーが大きくなりすぎるため収差発生量が増大して好ましくない。上限を越えると、逆に第1結像系Gr1の倍率が拡大傾向になりすぎるため、第1ミラーM1の外側に余分なスペースが生じたり、第2結像系Gr2で倍率をより縮小傾向にしなければならず光学系全系のパワーバランスが崩れるので好ましくない。なお条件式(5)の上限は3.0であればより好ましい。

【0029】条件式(6)は、第1ミラーM1に対し第2ミラーM2の位置を適正に保つように規定しているもので、下限を越えると、物体面から第1ミラーM1に向かう光束が第2ミラーM2によって欠られる不具合が生じ好ましくない。上限を越えると、第2ミラーM2と物体面が接近してしまうので物体面側のスペースが小さくなり装置構成上好ましくない。条件式(7)は、光学系全長に対し、第1ミラーM1の位置を適正に規定しているもので、この範囲を越えると光学系全系のパワーバランスが崩れるため好ましくない。特に、下限を越えると第1結像系Gr1のパワーが増大し、上限を越えると第2結像系Gr2のパワーが増大してベッツパール和や収差の打ち消し関係のバランスが崩れるため好ましくない。

【0030】条件式(8)は、第1結像系Gr1中の第1ミラー群GM1の倍率を規定しているもので、この範囲を越えると、第1ミラー群GM1のパワーが適正な範囲を越えてしまうので第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1の外側を通過させるための第2ミラー群GM2のパワーが規制されて、高次の歪曲収差や像面湾曲の発生を招いたり、光束が第1ミラー群GM1群と干渉する不具合が生じたり、また第2結像系Gr2とのパワーバランスにも影響し収差補正が困難となるので好ましくない。特に下限を越えると、第1ミラー群GM1のパワーが大きくなるので第1結像系Gr1のパワーが増大し、上限を越えると、第1結像系Gr1の倍率が拡大側に増大するので、第2結像系Gr2のパワーが増大し、いずれも収差補正が困難になってくる。なお条件式(8)の上限は-0.2であればより好ましい。

【0031】また、特に図3のBのような実施の形態で

は、フィールド光学系Grfは物体側へ凹面を向けた凹面鏡の第1フィールドミラーFM1と、第2フィールドミラーFM2を含む第2フィールドミラー群GFM2を有し、物理的に第1フィールドミラーFM1は第2フィールドミラー群GFM2よりも像面側に配置され、第2結像系Gr2は屈折レンズのみで構成され正屈折力を有し、物体側からの光束が第1結像系Gr1では第1ミラーM1、第2ミラーM2の順に反射された後に、第1ミラー群GM1の有効径の外側を通過して像面側へ進行し、次にフィールド光学系Grfでは第1フィールドミラーFM1、第2フィールドミラーFM2の順に反射された後に、第1フィールドミラーFM1の光軸中心近傍を通過して像面側へ進行し、最終的に第2結像系Gr2を通過することにより該投影光学系全系は1直線の光軸上に形成され、物体面と像面は該光軸の両端に対向して位置し、投影光学系全系の倍率は縮小倍率であることを特徴としている。

【0032】本実施の図3のBのような形態に特徴的な点は、第1結像系Gr1において上記c.の作用を2回＊

$$0.6 < OIL / (LM1 + 2 \times LM2) < 2.0 \dots (11)$$

を満足すること、前記の距離LM1、投影光学系全体の共役長Lに関し、

$$0.25 < LM1 / L < 0.55 \dots (12)$$

を満足すること、第1ミラー群GM1の倍率をBGM1とすると、

$$-1.2 < 1 / BGM1 < 0.4 \dots (13)$$

を満足すること、第2フィールドミラーFM2と第1フィールドミラーFM1の距離LFM1、第2フィールドミラーFM2と像面の距離LFM2に関し、

$$0.45 < LFM1 / LFM2 < 0.8 \dots (14)$$

を満足することである。  
【0034】条件式(9)から(13)については、前述した内容と同様である。条件式(14)は、像面、第1フィールドミラーFM1、第2フィールドミラーFM2の位置関係について規定しているもので、下限を越えると、第1フィールドミラーFM1と第2フィールドミラーFM2の間のスペースが狭くなり、それぞれのミラーのパワーが大きくなっていくのでミラー面での収差発生が増大し好ましくない。上限を越えると、第2結像系Gr2を構成するためのレンズスペースが狭くなり、各レンズのパワーが増加することによる収差発生が大きくなり好ましくない。

【0035】以上のように、本実施の形態2においては、光学系を第1結像系、フィールド光学系、第2結像系で構成し、第1結像系の2枚のミラーで2回反射を行い光束を像面側に通過させることによって、光軸が一本の簡素な構成を実現しており、また、各結像系、各ミラー群の倍率分担、各ミラーの位置関係等を所定の条件を満足するように規定することにより、十分な結像領域幅が得られ、小型軽量で光学素子の枚数が少なく、ミラー

＊利用し第1ミラーM1、第2ミラーM2と2枚のミラーで2回の反射を行い、物体からの光束を第1ミラー群GM1の有効径外を通過して像面側へ進行させているという点と、フィールド光学系Grfにおいても上記c.の作用を2回利用し、第1フィールドミラーFM1、第2フィールドミラーFM2と2枚のミラーで2回の反射を行い、光束を第1フィールドミラーFM1の光軸中心部分を通して像面側へ進行させていることにある。

【0033】この形態の光学系を構成する上では、さらに以下の条件を満足することが好ましい。第1結像系Gr1の倍率をBG1とすると、

$$-40.0 < BG1 < -0.9 \dots (9)$$

を満足すること、物体面と第1ミラーM1の距離LM1、第1ミラーM1より物体側にある光学素子により形成される瞳共役点の距離eに関し、

$$0.8 < e / LM1 < 1.5 \dots (10)$$

を満足すること、前記の距離LM1、第1ミラーM1と第2ミラーM2の距離LM2、物体面から第1結像系Gr1による中間像までの近軸距離OILに関し、

への入射角が大きくなり、十分な像側作動距離を確保できる反射屈折投影光学系を達成している。

【0036】

【実施例】以下に、本発明の実施例について説明する。なお、実施例1～実施例4は上記実施の形態1を適用した例であり、また、実施例5～実施例21は上記実施の形態2を適用した例である。

【0037】【実施例1】実施例1の具体的なレンズ構成を図4に示す。投影倍率は1/4倍であり、基準波長は157nm、硝材としては螢石を用いている。物体側から順に、正の屈折力を有する屈折レンズ群L1、後置される第1のミラーM1への入射光と反射光の両方が透過する往復光学系である屈折レンズ群R、第1のミラーである凹面鏡M1、第2のミラーである凹面鏡M2、フィールドレンズ群F、及び第2結像光学系G2より構成されている。本実施例は、像側の開口数はNA=0.6、縮小倍率1/4、物像間距離(第1の物体面～第2の物体面)はL=約1170mmである。また、基準波長は157nm、像高がおおよそ11.25～19.75mmの範囲にて収差補正されており、少なくとも長さ方向で26mm、幅で8mm程度の円弧状の露光領域を確保できる。また、本実施例の縦及び横収差図を図8に、数値実施形態の構成諸元値を表1に示す。尚、収差図は基準波長及び±2pmの波長について表示している。

【0038】屈折レンズ群L1は、物体側より順に、両凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた略平凸形状の非球面正レンズよりなる。屈折レンズ群L1により、テレセン度と歪曲収差のバランスを良好にするとともに、第1のミラーM1及び往復光学系Rへ光束を屈折させている。往復光学系である屈折レンズ群Rは物体側



に凹面を向けたメニスカス形状の非球面負レンズにより構成されている。この負レンズにより、主に像面湾曲及び軸上色収差を補正している。また非球面により、主に球面収差及びコマ収差等を補正している。

【0039】第1のミラーM1は、物体側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されており、正の屈折力を有するとともに、像面湾曲を正方向に出して、屈折レンズにて構成されている第2結像光学系の負の像面湾曲を打ち消す働きを有する。第2のミラーM2は、像側に凹面を向けた凹面鏡にて構成されており、第1の物体101上の軸外光束を第1のミラーM1の有効径外へと導いている。中間像は、第1のミラーM1の有効径外の近傍に形成されている。本実施例において第1結像光学系は拡大系であり、第1のミラーM1からの反射光束と、第2のミラーM2からの反射光束との分離を容易に達成することができる。本実施例においては、中間像付近に1枚の両凸形状の非球面レンズをフィールドレンズ群Fとして配置している。

【0040】第2結像光学系G2は、物体側から順に、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、開口絞り、像側に凸面を向けた略平凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レンズ、像側に凹面を向けた非球面レンズ、像側に凸面を向けた非球面レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レンズ、よりなる。この第2結像光学系G2は、フィールドレンズ群Fからの光束を第2の物体面上102に結像するために縮小系を構成し、開口絞りに対して光束に角度を持って入射させることにより、開口絞り付近の屈折レンズの有効径を小さく抑えている。このような配置を採ることにより、軸上色収差や球面収差等の諸収差の発生を低減するとともに、第1結像光学系にて発生する諸収差と打ち消しあうことで、全系において良好な収差補正を達成している。

【0041】尚、本実施例においては、第2のミラーM2は球面ミラーにて構成されており、それ以外の素子は全て非球面にて形成されているが、第1結像光学系G1及び第2結像光学系G2における屈折レンズ、及び第1のミラーM1は必ずしも全て非球面である必要はない。球面レンズ、球面ミラーでも構わない。但し、非球面を用いることによって諸収差をより良好に補正することが可能である。

【0042】[実施例2] 実施例2の具体的なレンズ構成を図5に示す。投影倍率は1/4倍であり、基準波長は157nm、硝材としては蛍石を用いている。物体側から順に、正の屈折力を有する屈折レンズ群L1、後置される第1のミラーM1への入射光と反射光の両方が透過する往復光学系である屈折レンズ群R、第1のミラーである凹面鏡M1、第2のミラーである平面鏡M2、フィールドレンズ群F、及び第2結像光学系G2より構成されている。本実施例は、像側の開口数はNA=0.6

0、縮小倍率1/4、物像間距離（第1の物体面～第2の物体面）はL=約1205mmである。また、像高がおよそ10～16.25mmの範囲にて収差補正されており、少なくとも長さ方向で26mm、幅で4mm程度の円弧状の露光領域を確保できる。また、本実施例の縦及び横収差図を図9に、数値実施形態の構成諸元値を表2に示す。尚、収差図は基準波長及び±2pmの波長について表示している。

【0043】本実施例の具体的な構成について説明する。屈折レンズ群L1は、物体側より順に、両凸形状の非球面正レンズ1枚よりなる。2枚のミラーを含む群L2は、往復光学系である屈折レンズ群Rと第1のミラーM1、第2のミラーM2よりなる。往復光学系である屈折レンズ群Rは物体側に凹面を向けた略平凸形状の非球面負レンズにより構成されている。第1のミラーM1は、物体側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されている。第2のミラーM2は、平面ミラーにて構成されている。

【0044】また、第1結像光学系にて結像した中間像付近にフィールドレンズ群Fを配置している。このフィールドレンズ群Fは、物体側より順に、両凸形状の非球面正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、により構成されている。第2結像光学系G2は、物体側から順に、像側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面負レンズ、開口絞り、両凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の正球面レンズ、像側に凸面を向けた非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた略平凸形状の非球面正レンズ、よりなる。本実施例においては、第2結像光学系G2に強い負レンズを有する構成となっている。

【0045】[実施例3] 実施例3の具体的なレンズ構成を図6に示す。投影倍率は1/4倍であり、基準波長は157nm、硝材としては蛍石を用いている。また、像側の開口数はNA=0.68、物像間距離（第1の物体面～第2の物体面）はL=約1185mmである。また、像高がおよそ11.25～20.25mmの範囲にて収差補正されており、少なくとも長さ方向で26mm、幅で8mm程度の円弧状の露光領域を確保できる。また、本実施例の縦及び横収差図を図10に、数値実施形態の構成諸元値を表3に示す。尚、収差図は基準波長及び±2pmの波長について表示している。

【0046】屈折レンズ群L1は、物体側より順に、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、両凸形状の非球面正レンズよりなる。往復光学系である屈折レンズ群Rは物体側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面負レンズにより構成されている。第1のミラーM1は、物体側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されており、正の屈折力を有するとともに、像面湾曲を正方向に出して、屈折レンズにて構成されている第2結像光学系の負の像面湾曲をキャンセルしている。第2のミ

ラーM2は、像側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されており、第1の物体101上の軸外光束を第1のミラーの有効径外へと導いている。中間像は、第1のミラーM1の有効径外の近傍に形成されている。また、本実施例においては、中間像付近にフィールドレンズ群Fを配置している。このフィールドレンズ群Fは、物体側より順に、像側に凸面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、両凸形状の非球面正レンズ、よりなる。

【0047】第2結像光学系G2は、物体側から順に、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の非球面正レン  
ズ、開口絞り、像側に凸面を向けた略平凸形状の非球面  
正レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レンズ、像側  
に凹面を向けた非球面レンズ、像側に凸面を向けた非球  
面レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レンズ、より  
なる。この第2結像光学系G2は、フィールドレンズ群  
Fからの光束を第2の物体面上102に結像するために縮  
小系を構成し、開口絞りに対して光束に角度を持って  
入射させることにより、開口絞り付近の屈折レンズの有  
効径を小さく抑えている。このような配置を取ることに  
より、軸上色収差や球面収差等の諸収差の発生を低減す  
るとともに、第1結像光学系にて発生する諸収差と打ち  
消しあうことで、全系において良好な収差補正を達成し  
ている。

【0048】[実施例4] 実施例4の具体的なレンズ構  
成を図7に示す。投影倍率は1/5倍であり、基準波長  
は157nm (F2エキシマレーザ光の波長)、硝材とし  
ては螢石を用いている。また、像側の開口数は $NA=0.60$ 、物像間距離(第1の物体面~第2の物体面)  
は $L=約1411mm$ である。また、像高がおよそ9~  
15mmの範囲にて収差補正されており、少なくとも長  
さ方向で20.8mm、幅で5mm程度の円弧状の露光  
領域を確保できる。また、本実施例の縦及び横収差図を  
図11に、数値実施形態の構成諸元値を表4に示す。

【0049】物体側から順に、正の屈折力を有する屈折  
レンズ群L1、第1のミラーである凹面鏡M2、第2の  
ミラーである凹面鏡M2、及び第2結像光学系G2より  
構成されている。尚、本実施例では、2枚のミラーを有  
する群L2中に、屈折レンズ群Rは存在しないとともに  
、フィールドレンズ群Fも存在しない。屈折レンズ群  
L1は、物体側より順に、像側に凸面を向けた略平凸形  
状の非球面正レンズ、両凸形状の非球面正レンズよりな  
る。

【0050】第1のミラーM1は、物体側に凹面を向け  
た非球面凹面鏡にて構成されている。第2のミラーM2  
は、像側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されてお  
り、第1の物体101上の軸外光束を第1のミラーの有  
効径外へと導いている。中間像は、第1のミラーM1の  
有効径外の近傍に形成されている。本実施例では、第1  
結像光学系G1は縮小系を形成している。第2結像光学  
系G2は、物体側から順に、両凸形状の非球面正レン

ズ、開口絞り、像側に凹面を向けた2枚のメニスカス形  
状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レ  
ンズ、よりなる。この第2結像光学系G2は、第2のミ  
ラーM2からの光束を第2の物体面上102に結像する  
ために縮小系を構成している。以上の4つの実施例にお  
いて、実施例2以外は、第1のミラーM1が全て非球面  
としたが、球面で構成しても構わない。また、実施例中  
の屈折レンズは、実施例1、実施例2を除いて全て非球  
面レンズであるが、球面レンズと混在して用いても構わ  
ない。また、非球面レンズは、全て非球面の加工面の裏  
面が球面で構成されているが、平面或いは非球面で構成  
されていても構わない。また、第1のミラー或いは第2  
のミラーは屈折力を持たない非球面で構成しても構わな  
い。

【0051】本発明における以上の実施例1~実施例4  
では露光領域は円弧状としたが、収差補正されている露  
光領域内であれば矩形でも他の形状でも構わない。ま  
た、2枚のミラーを含む群L2において、屈折レンズ群  
Rを含む構成を示したが、この屈折レンズ群Rとミラー  
が一体化、即ちマンジンミラーにて構成されていても構  
わない。或いは、屈折レンズ群Rと第2のミラーM2と  
を一体化してマンジンミラーとしてもよい。また、以上  
の実施例において、円錐定数 $k$ をゼロとした非球面デー  
タがあるが、円錐定数を変数にとり設計しても構わな  
い。また、今回は露光光源として波長157nmのF2  
エキシマレーザを用いたが、KrFエキシマレーザ  
(波長248nm)或いは、ArFエキシマレーザ  
(波長193nm)等でも構わない。特に、波長が短く  
なり、用いることができる光学材料が限られるとともに  
透過率が低く、光学系の構成枚数を少なくしなければ  
ならないような光学系に用いる場合に有効となる。従っ  
て、250nm以下の波長にて用いられる光学系には特  
に有効である。また、今回の実施例は、F2エキシマレ  
ーザ光の波長157nmにおける硝材としてすべて螢石  
を用いたが、このような波長157nmにて使用可能  
な、例えばフッ素ドープの石英等、他の硝材を用いるこ  
とができればその硝材を用いても構わない。また、Kr  
FやArF光源の場合、螢石と石英を混在して用いても  
構わないし、どちらか一方を用いても構わない。

【0052】[実施例5] 図12は本発明の実施例5の  
光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長  
157nmを用い、 $NA0.6$ 、投影倍率 $\beta=1/6$ 、  
レンズ共役長 $L=1005mm$ 、像面上の結像領域は像  
高にして8.64mmから14.40mmの輪帯状の光  
学系をミラー2枚、レンズ9枚という少ない構成枚数に  
より達成している。本実施例において、 $r1\sim r2$ は第  
1結像系Gr1であり、凹面の第1ミラーM1、凹面の  
第2ミラーM2で構成している。 $r3\sim r8$ はフィール  
ド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位  
置する正レンズFL1を含む2枚の正レンズと1枚の負

レンズで構成している。 $r_9 \sim r_{21}$ は第2結像系Gr2であり、 $r_{11}$ の絞りと4枚の正レンズと2枚の負レンズで構成している。

【0053】本実施例においては、第1結像系Gr1の倍率が最も縮小系となっているため、条件式(2)の上限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表5に示す。本実施例では像側作動距離30mmを確保しており、光路上の全硝子長は224.7mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の227mmであるが、第2結像系の最大径は125mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図29に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0054】【実施例6】図13は本発明の実施例6の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=956$ mm、像面上の結像領域は像高にして7.2mmから14.40mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ10枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、 $r_1 \sim r_4$ は第1結像系Gr1であり、( $r_1, r_2$ )はG1群としての正レンズ、凹面の第1ミラーM1、凹面の第2ミラーM2で構成している。 $r_5 \sim r_{10}$ はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む2枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。 $r_{11} \sim r_{23}$ は第2結像系Gr2であり、 $r_{13}$ の絞りと4枚の正レンズと2枚の負レンズで構成している。

【0055】本実施例においては、第1ミラーM1での倍率がより縮小傾向となっているため条件式(8)の下限近傍の値となっている。またこれにより第1結像系Gr1における近軸での中間像は光束が第1ミラーM1で反射後、第2ミラーM2へ入射する手前に形成しているため、条件式(5)の下限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表6に示す。本実施例では像側作動距離31mmを確保しており、光路上の全硝子長は232.1mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の196mmであるが、第2結像系の最大径は143mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図30に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0056】【実施例7】図14は本発明の実施例7の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1199$ mm、像面上の結像領域は像高にして8.4mmから14.0mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ9枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、 $r_1 \sim r_4$ は第1結像系Gr1であり、( $r_1, r_2$ )はG1群としての正

レンズ、凹面の第1ミラーM1、凹面の第2ミラーM2で構成している。 $r_5 \sim r_{12}$ はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。 $r_{13} \sim r_{21}$ は第2結像系Gr2であり、 $r_{13}$ の絞りと4枚の正レンズで構成している。

【0057】本実施例においては、第1結像系Gr1における瞳共役点の位置が第1ミラーM1の位置に対し正の方向へ大きく離れているために条件式(4)の上限近傍の値となっており、また光学全長に対し物体面から第1ミラーM1の距離が短くなっているため、条件式

(7)の下限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表7に示す。本実施例では像側作動距離35.1mmを確保しており、光路上の全硝子長は333.8mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の250mmであるが、第2結像系の最大径は143mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図31に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0058】【実施例8】図15は本発明の実施例8の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1198$ mm、像面上の結像領域は像高にして8.4mmから14.0mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ10枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、 $r_1 \sim r_{10}$ は第1結像系Gr1であり、( $r_1, r_2$ )はG1群としての正レンズ、( $r_3, r_4$ )、( $r_6, r_7$ )、( $r_9, r_{10}$ )は物理的に第1ミラーM1と凹面の第2ミラーM2の間に配置した同一の負レンズ、それと第1ミラーM1と凹面の第2ミラーM2で構成している。 $r_{11} \sim r_{18}$ はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。 $r_{19} \sim r_{27}$ は第2結像系Gr2であり、 $r_{19}$ の絞りと4枚の正レンズで構成している。

【0059】本実施例においては、第1結像系Gr1で物理的に第1ミラーM1と凹面の第2ミラーM2の間に配置した負レンズは、第2ミラーからの反射光束が第1ミラーM1と干渉する不具合を回避するため、歪曲収差等の補正のために配置している。なお、数値実施形態の構成諸元値を表8に示す。本実施例では像側作動距離36.1mmを確保しており、光路上の全硝子長は337.6mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の245mmであるが、第2結像系の最大径は142mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図32に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0060】【実施例9】図16は本発明の実施例9の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長

10

20

30

40

50



157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1166\text{mm}$ 、像面上の結像領域は像高にして7.7mmから14.0mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ12枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、 $r1\sim r14$ は第1結像系Gr1であり、( $r1, r2$ )はG1群としての正レンズ、( $r3, r4$ )、( $r10, r11$ )、( $r13, r14$ )は同一の正レンズLP1で第2ミラーM2と共に第2ミラー群GM2を構成し、( $r5, r6$ )、( $r8, r9$ )は同一の負レンズLN1で第1ミラーM1と共に第1ミラー群GM1を構成している。 $r15\sim r22$ はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。 $r23\sim r33$ は第2結像系Gr2であり、 $r27$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。

【0061】本実施例においては、第1結像系Gr1による中間像の位置が第1ミラーM1の位置とほぼ一致しており第1ミラー群GM1の外側で中間像を形成しているので、光束と第1ミラー群GM1との干渉の不具合が回避しやすく、かつフィールド光学系Grfの径をも大きくすることを抑制することができるので効率的な構成となっている。また第2ミラー群GM2を正レンズLP1と第2ミラーM2で構成し、ベッツバール和をコントロールしている。一方、中間像の結像状態が程良いのでこの位置に視野絞りを設けることもできる。なお、数値実施形態の構成諸元値を表9に示す。本実施例では像側作動距離30.3mmを確保しており、光路上の全硝子長は400.5mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の213mmであるが、第2結像系の最大径は157mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図33に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0062】【実施例10】図17は本発明の実施例10の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1160\text{mm}$ 、像面上の結像領域は像高にして7.7mmから14.0mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ12枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、 $r1\sim r14$ は第1結像系Gr1であり、( $r1, r2$ )はG1群としての正レンズ、( $r3, r4$ )、( $r10, r11$ )、( $r13, r14$ )は同一の正レンズLP1で第2ミラーM2と共に第2ミラー群GM2を構成し、( $r5, r6$ )、( $r8, r9$ )は同一の負レンズLN1で第1ミラーM1と共に第1ミラー群GM1を構成している。 $r15\sim r22$ はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。 $r23\sim r33$ は第2結像系Gr2であり、 $r27$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。

りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。

【0063】本実施例では、特に第1結像系Gr1における第1ミラー群GM1を負レンズLN1と第1ミラーM1で構成し各々のパワーを強めることにより、光学系全系に対する色収差補正効果を大きくしている。また第2ミラー群GM2を正レンズLP1と第2ミラーM2で構成し、ベッツバール和をコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表10に示す。本実施例では像側作動距離30.0mmを確保しており、光路上の全硝子長は375.9mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の266mmであるが、第2結像系の最大径は105mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図34に示すが、主波長が157nmで2pmの波長範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0064】【実施例11】図18は本発明の実施例11の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1430\text{mm}$ 、像面上の結像領域は像高にして8.19mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ12枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、 $r1\sim r12$ は第1結像系Gr1であり、( $r1, r2$ )はG1群としての正レンズ、( $r3, r4$ )、( $r6, r7$ )は同一の負レンズLN1で第1ミラーM1と共に第1ミラー群GM1を構成し、( $r8, r9$ )、( $r11, r12$ )は同一の正レンズLP1で第2ミラーM2と共に第2ミラー群GM2を構成している。 $r13\sim r20$ はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。 $r21\sim r31$ は第2結像系Gr2であり、 $r25$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。

【0065】本実施例でも、実施例10と同様に第1ミラー群GM1の構成の故に色収差補正効果を大きくしている。また第2ミラー群GM2を正レンズLP1と第2ミラーM2で構成し、ベッツバール和をコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表11に示す。本実施例では像側作動距離30.0mmを確保しており、光路上の全硝子長は371.9mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の328mmであるが、第2結像系の最大径は141mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図35に示すが、主波長が157nmで4pmの波長範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0066】【実施例12】図19は本発明の実施例12の光路図であり、基準波長はF2光源で157nm、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1$

430mm、像面上の結像領域は像高にして8.19mmから13.65mmの輪帯状の光学系を実施例11と同様なミラー2枚、レンズ12枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、 $r1 \sim r12$ は第1結像系Gr1であり、( $r1, r2$ )はG1群としての正レンズ、( $r3, r4$ )、( $r6, r7$ )は同一の負レンズLN1で第1ミラーM1と共に第1ミラー群GM1を構成し、( $r8, r9$ )、( $r11, r12$ )は同一の正レンズLP1で第2ミラーM2と共に第2ミラー群GM2を構成している。図20においては、正レンズ群G1も正レンズLP1も半円盤状となっている。 $r13 \sim r20$ はフィールド光学系Grfであり、第1ミラー群GM1の外側に位置し中心部分がくり抜かれたドーナツ形状の正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。 $r21 \sim r31$ は第2結像系Gr2であり、 $r25$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。

【0067】本実施例では、第1結像系Gr1の瞳共役点がいずれも物体側にあるので条件式(4)では下限近傍の値を有している。そして実施例10と同様に第1ミラー群GM1の構成の故に色収差補正効果を大きくしている。またフィールド光学系Grfの正レンズFL1をドーナツ形状とし、その中心部分に第1結像系Gr1の第1ミラー群GM1を配置することにより、より物体側で光線を屈折させることができるので、フィールド光学系Grfや第2結像系Gr2のパワーを小さくすることができ、収差補正上の利点となる。また第2ミラー群GM2を正レンズLP1と第2ミラーM2で構成し、ベッツバル和をコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表12に示す。本実施例では像側作動距離30.0mmを確保しており、光路上の全硝子長は377.0mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の328mmであるが、第2結像系の最大径は144mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図36に示すが、主波長が157nmで4pmの波長範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0068】【実施例13】図20は本発明の実施例13の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1100$ mm、像面上の結像領域は像高にして10.24mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ5枚という非常に単純化された構成により達成している。本実施例において、 $r1 \sim r2$ は第1結像系Gr1であり、凹面の第1ミラーM1、凹面の第2ミラーM2のみで構成している。 $r3 \sim r4$ はフィールド光学系Grfであり、凹面第1フィールドミラーFM1と凸面の第2フィールドミラーFM2のみで構成している。 $r5 \sim r15$ は第2結像系Gr2であり、 $r5$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レ

ンズで構成している。本実施例においては、光学系全系の共役長に対し相対的に第1ミラーM1がより物体側に位置しており条件式(12)の下限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表22に示す。本実施例では像側作動距離30mmを確保しており、光路上の全硝子長は192.2mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の388mmであるが、第2結像系の最大径は167mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図37に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0069】【実施例14】図21は本発明の実施例14の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1100$ mm、像面上の結像領域は像高にして10.24mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ6枚と実施例22にレンズ1枚が付加した単純化された構成により達成している。本実施例において、 $r1 \sim r2$ は第1結像系Gr1であり、凹面の第1ミラーM1、ほぼ平面に近い凹面の第2ミラーM2のみで構成している。 $r3 \sim r8$ はフィールド光学系Grfであり、凹面の第1フィールドミラーFM1と凸面の第2フィールドミラーFM2、( $r4, r5$ )、( $r7, r8$ )の同一の負レンズLFで構成している。 $r9 \sim r19$ は第2結像系Gr2であり、 $r9$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、凸面の第2フィールドミラーFM2と負レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GFM2によりベッツバル和もコントロールしている。また第2結像系Gr2における倍率が小さくなっており、条件式(1)の上限近傍の値となっており、第1結像系Gr1に正レンズ群G1を構成していないので第2ミラーM2がより物体側に位置しており条件式(6)の上限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表14に示す。本実施例では像側作動距離30mmを確保しており、光路上の全硝子長は156.4mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の444mmであるが、第2結像系の最大径は144mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図38に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0070】【実施例15】図22は本発明の実施例15の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1190$ mm、像面上の結像領域は像高にして9.56mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ8枚と実施例23にレンズ2枚が付加した構成により達成している。本実施例において、 $r1 \sim r8$ は第1結像系Gr1であり、( $r1, r2$ )はG1群としての正レンズ、( $r3, r$

4)、(r6, r7)は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、凸面の第2ミラーM2で構成している。r9~r14はフィールド光学系Grfであり、凹面の第1フィールドミラーFM1と凸面の第2フィールドミラーFM2、(r10, r11)、(r13, r14)の同一の正レンズLFで構成している。r15~r25は第2結像系Gr2であり、r15の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、第1結像系Gr1において凸レンズ群G1を構成することにより物体側テレセントリックを形成し、第1ミラー群GM1を負レンズLN1と第1ミラーM1で構成することにより、色補正を行っている。凸面の第2フィールドミラーFM2と正レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GFM2によりベッツバル和もコントロールしている。また第1結像系Gr1の瞳共役点がより物体側にあるので条件式(10)の下限近傍の値となっている。第2フィールドミラーFM2と第1フィールドミラーFM1との間隔も相対的に大きくなっているため条件式(14)の上限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表15に示す。本実施例では像側作動距離36mmを確保しており、光路上の全硝子長は203.7mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の512mmであるが、第2結像系の最大径は146mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図39に示すが、主波長が157nmで4pmの波長範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0071】[実施例16]図23は本発明の実施例16の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1190$ mm、像面上の結像領域は像高にして9.56mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ9枚と実施例24にレンズ1枚が付加した構成により達成している。本実施例において、r1~r8は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正レンズ、(r3, r4)、(r6, r7)は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、凸面の第2ミラーM2で構成している。r9~r16はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第1フィールドミラーFM1、凸面の第2フィールドミラーFM2、(r12, r13)、(r15, r16)の同一の負レンズLFで構成している。r17~r27は第2結像系Gr2であり、r17の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、第1結像系Gr1の倍率を-3.838倍とやや拡大系としているため、フィールド光学系Grfに含まれる正レンズFL1を第1ミラーM1の像側背後に配置し、径の増大を抑制している。また負レンズLN1と第1ミラーM1で構成された

第1ミラー群GM1と、凸面の第2フィールドミラーFM2と負レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GFM2によりベッツバル和をコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表16に示す。本実施例では像側作動距離36mmを確保しており、光路上の全硝子長は292.8mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の294mmであるが、第2結像系の最大径は184mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図40に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0072】[実施例17]図24は本発明の実施例17の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1188$ mm、像面上の結像領域は像高にして9.56mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ9枚という構成により達成している。本実施例において、r1~r8は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正レンズ、(r3, r4)、(r6, r7)は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、凸面の第2ミラーM2で構成している。r9~r16はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第2フィールドミラーFM1、凹面の第2フィールドミラーFM2、(r12, r13)、(r15, r16)の同一の正レンズLFで構成している。r17~r27は第2結像系Gr2であり、r17の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、フィールド光学系Grfにおいて凹面の第2フィールドミラーFM2とその像面側背後に正レンズLFを配置したことにより、この正レンズLFの像面側直後においても中間像を形成しており、光学系全体として3回結像となっている。したがってフィールド光学系Grf以降においては正のパワーが大きくなっておりスペース的に小さくなっているため、第1ミラーM1の位置は相対的に像面側に位置しており、条件式(12)の上限近傍の値となっている。また第1ミラーM1での倍率がより縮小傾向となっているため条件式(13)の下限近傍の値となっており、これにより第1結像系Gr1における近軸での中間像は光束が第2ミラーM2で反射後、より物体側で形成しているため、条件式(11)の下限近傍の値となっている。第1ミラー群GM1を負レンズLN1と第1ミラーM1で構成することにより色補正も行っている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表17に示す。本実施例では像側作動距離36mmを確保しており、光路上の全硝子長は303.3mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の323mmであるが、第2結像系の最大径は125mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図41に示すが、主波長が157nmで2pmの波長

範囲について示しており収差が良好に補正されているの  
 がわかる。

【0073】[実施例18] 図25は本発明の実施例1  
 8の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の  
 波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/4$ 、  
 レンズ共役長 $L=1197\text{mm}$ 、像面上の結像領域  
 は像高にして10.0mmから20.0mmと大きく確  
 保した輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ9枚と実施  
 例16と同様な構成により達成している。本実施例にお  
 いて、 $r1\sim r8$ は第1結像系Gr1であり、( $r1$ ,  $r2$ )はG1群としての正レンズ、( $r3$ ,  $r4$ )、  
 ( $r6$ ,  $r7$ )は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミ  
 ラーM1、凸面の第2ミラーM2で構成している。 $r9$   
 $\sim r16$ はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第1フィールドミラーFM1、凸面の第2  
 フィールドミラーFM2、( $r12$ ,  $r13$ )、( $r15$ ,  $r16$ )の同一の正レンズLFで構成している。 $r17\sim r27$ は第2結像系Gr2であり、 $r17$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、第1ミラー群GM1を負レンズLN1と第1ミラーM1で構成することにより、色補正を行っている。また凸面の第2フィールドミラーFM2と正レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GFM2によりベッツバル和もコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表18に示す。本実施例では像側作動距離37mmを確保しており、光路上の全硝子長は286.8mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の442mmであるが、第2結像系の最大径は165mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図42に示すが、主波長が157nmで4 $\mu\text{m}$ の波長範囲について示しており収差が良好に補正されているの  
 がわかる。

【0074】[実施例19] 図26は本発明の実施例1  
 9の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の  
 波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、  
 レンズ共役長 $L=934\text{mm}$ 、像面上の結像領域は  
 像高にして7.7mmから14.0mmの輪帯状の光学  
 系をミラー4枚、レンズ10枚という構成により達成し  
 ている。本実施例において、 $r1\sim r10$ は第1結像系  
 Gr1であり、( $r1$ ,  $r2$ )、( $r3$ ,  $r4$ )は正レ  
 ンズでG1群を構成し、( $r5$ ,  $r6$ )、( $r8$ ,  $r9$ )  
 は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、  
 凹面の第2ミラーM2で構成している。 $r11\sim r18$   
 はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹  
 面の第1フィールドミラーFM1、凸面の第2フィ  
 ルドミラーFM2、( $r14$ ,  $r15$ )、( $r17$ ,  $r18$ )  
 の同一の正レンズLFで構成している。 $r19\sim r29$   
 は第2結像系Gr2であり、 $r19$ の絞りと4枚の  
 正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例に

においては、第1ミラー群GM1を負レンズLN1と第1  
 ミラーM1で構成することにより、色補正を行ってい  
 る。凸面の第2フィールドミラーFM2と正レンズLF  
 で構成された第2フィールドミラー群GFM2によりベ  
 ッツバル和もコントロールしている。また第1結像系  
 Gr1の倍率が最も縮小系となっているため、条件式  
 (9)の上限近傍の値となっている。第2フィールドミ  
 ラーFM2と第1フィールドミラーFM1との間隔は相  
 対的に小さくなっているため条件式(14)の下限近傍  
 の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を  
 表19に示す。本実施例では像側作動距離33.7mm  
 を確保しており、光路上の全硝子長は264.4mmと  
 非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフ  
 ィールド光学系の293mmと比較的小さくなってお  
 り、第2結像系の最大径も130mmとNAが0.6に  
 もかわらず小さくなっている。次に、収差図を図43  
 に示すが、主波長が157nmで2 $\mu\text{m}$ の波長範囲につ  
 いて示しており収差が良好に補正されているの  
 がわかる。

【0075】[実施例20] 図27は本発明の実施例2  
 0の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の  
 波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/8$ 、  
 レンズ共役長 $L=1190\text{mm}$ 、像面上の結像領域  
 は像高にして9.56mmから13.65mmの輪帯状  
 の光学系をミラー4枚、レンズ9枚と実施例16と同様  
 な構成により達成している。本実施例において、 $r1\sim$   
 $r8$ は第1結像系Gr1であり、( $r1$ ,  $r2$ )はG1  
 群としての正レンズ、( $r3$ ,  $r4$ )、( $r6$ ,  $r7$ )  
 は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、凹面  
 の第2ミラーM2で構成している。 $r9\sim r16$ はフ  
 ィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第  
 1フィールドミラーFM1、凸面の第2フィールドミ  
 ラーFM2、( $r12$ ,  $r13$ )、( $r15$ ,  $r16$ )の  
 同一の負レンズLFで構成している。 $r17\sim r27$ は  
 第2結像系Gr2であり、 $r17$ の絞りと4枚の正レン  
 ズと1枚の負レンズで構成している。本実施例におい  
 ては、まず第1結像系Gr1の倍率が大きく拡大傾向とな  
 っているため、条件式(9)の下限近傍の値を有してい  
 る。これは主に第1ミラー群GM1での倍率が正であり  
 条件式(13)の上限近傍の値を有していることによ  
 る。これにより条件式(11)の上限近傍の値を有して  
 いるように、第1結像系Cr1による中間像の位置は大  
 きく第1ミラーM1から離れている。また第1結像系G  
 r1の瞳共役点が第1ミラーM1に対しより像面側にあ  
 るので条件式(10)の上限近傍の値となっている。そ  
 して負レンズLN1と第1ミラーM1で構成された第1  
 ミラー群GM1と、凸面の第2フィールドミラーFM2  
 と負レンズLFで構成された第2フィールドミラー群G  
 FM2によりベッツバル和もコントロールしている。  
 なお、数値実施形態の構成諸元値を表20に示す。本実

施例では像側作動距離36mmを確保しており、光路上の全硝子長は315.5mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の355mmであるが、第2結像系の最大径は177mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図44に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0076】〔実施例21〕図28は本発明の実施例21の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/10$ 、レンズ共役長 $L=1190$ mm、像面上の結像領域は像高にして9.56mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ9枚と実施例25と同様な構成により達成している。本実施例において、 $r1 \sim r8$ は第1結像系Gr1であり、( $r1, r2$ )はG1群としての正レンズ、( $r3, r4$ )、( $r6, r7$ )は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、ほぼ平面だが凸面状の第2ミラーM2で構成している。 $r9 \sim r16$ はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第1フィールドミラーFM1、凸面の第2フィールドミラーFM2、( $r12, r13$ )、( $r15, r16$ )の同一の負レンズLFで構成している。 $r17 \sim r27$ は第2結像系Gr2であり、 $r17$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、第2結像系Gr2の倍率が条件式(1)の下限近傍の値を有しており、また、第2ミラーM2と第1ミラーM1の距離が短く、条件式(6)の下限近傍の値を有していることが特徴的である。そして負レンズLN1と第1ミラーM1で構成された第1ミラー群GM1と、凸面の第2フィールドミラーFM2と負レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GF M2によりベッツパル和もコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表21に示す。本実施例では像側作動距離36mmを確保しており、光路上の全硝子長は301.7mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の310mm\*

$$X = \frac{H^2/5}{1 + \left(1 - (1+k) \cdot \left(\frac{H}{r_i}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} + A \cdot H^4 + B \cdot H^6 + C \cdot H^8 + D \cdot H^{10} + E \cdot H^{12} + F \cdot H^{14} + G \cdot H^{16} + \dots$$

にて与えられるものとする。ここに、Xはレンズ頂点から光軸方向への変位量、Hは光軸からの距離、 $r_i$ は曲率半径、kは円錐定数、A、...、Gは非球面係数で

\*mmであるが、第2結像系の最大径は180mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図45に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0077】なお、以上の実施例5～実施例21においては非球面を使用しており円錐定数kをゼロとしているレンズ面があるが、円錐定数kを変数にとって設計しても構わない。さらに、本実施例ではすべてF2光源の場合でありその硝材を蛍石( $n=1.5600$ )で構成しているが、一部にフッ素ドープの石英を用いてもよい。また光源はArFエキシマレーザでも、KrFエキシマレーザでもよく、この場合は、蛍石と石英の両方とも用いることが可能なので色収差をより小さく補正することができる。またどちらか1硝種のみで光学系を構成した場合でも、F2の場合よりも分散が小さくなるので、色収差の補正が容易となる。上記実施例1～実施例21の投影光学系は、ステップ&スキャン方式でレチクル(マスク)のデバイス(cf:回路)パターンを基板(ウェハ)上に投影する走査型投影露光装置の投影光学系として用いる。この露光装置でウェハをデバイスパターンで露光し、露光したウェハを現像しエッチングなどの処理を施して、デバイス(cf:半導体チップ)が作られる。

【0078】以下に、上記実施例1～実施例21の数値実施形態の構成諸元を、それぞれの実施例と対応させて表

【1】～表

【21】を示す。なお、数値実施形態において、 $r_i$ は物体側より順に第i番目のレンズ面の曲率半径、 $d_i$ は物体側より順に第i番目のレンズ厚及び空気間隔、 $n_i$ は物体側より順に第i番目のレンズの硝子の基準波長 $\lambda=157$ nmに対する屈折率を示すものとする。また、基準波長に対する+2 $\mu$ m及び-2 $\mu$ mの波長の屈折率は、各々1.5599949、1.5600051である。また、非球面の形状は次式、

ある。

【0079】

【表1】〈実施例1〉

第1の物体~第1面の距離: 81.739mm

i	ri	di	ni	
1	989.392	18.000	1.56000	
2	-3595.508	1.697		
3	236.000	24.359	1.56000	
4	2462.140	300.511		
5	-114.548	18.000	1.56000	
6	-946.809	7.879		
7	-185.804	-7.879		M 1
8	-946.909	-18.000	1.56000	
9	-114.548	-286.511		
10	1428.922	324.390		M 2
11	380.000	48.405	1.56000	
12	-345.892	434.726		
13	102.426	18.000	1.56000	
14	225.926	45.944		
15	0.0(stop)	21.343		
16	2291.779	28.288	1.56000	
17	-232.971	1.000		
18	68.389	22.403	1.56000	
19	275.504	1.000		
20	139.927	19.297	1.56000	
21	275.224	5.771		
22	-963.793	27.452	1.56000	
23	-228.789	1.000		
24	106.934	18.000	1.56000	
25	-742.488			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	3.268074e-008	-6.656739e-012	1.084352e-016	-1.465501e-020
4	0.000000e+000	-5.945159e-008	9.387805e-012	-3.675672e-016	1.878106e-020
6	0.000000e+000	-1.045454e-008	9.094085e-013	4.644093e-017	6.202292e-019
7	0.000000e+000	-1.020658e-008	-2.127267e-013	-2.970263e-017	1.065496e-019
9	0.000000e+000	-1.045454e-008	9.094085e-013	4.644093e-017	6.202292e-019
12	0.000000e+000	1.276943e-008	-3.269379e-014	-1.148753e-018	1.871030e-022
13	0.000000e+000	-1.177280e-007	-9.735382e-012	-5.058594e-016	-7.794080e-020
16	0.000000e+000	7.416847e-008	-1.533594e-011	2.908683e-015	-1.312466e-019
18	-2.765242e-001	-4.548406e-009	8.093119e-012	-1.772233e-015	-2.169524e-018
20	-3.452390e+000	-1.157411e-007	-3.193404e-011	-1.695026e-015	3.936837e-018
22	0.000000e+000	1.441342e-007	1.875541e-011	8.365199e-015	-6.884476e-018
24	-5.937621e-001	-2.497358e-007	-8.672718e-011	-1.119851e-014	-1.058646e-017

i	E	F	G
2	2.506755e-024	-9.840963e-029	0.000000e+000
4	-1.827522e-024	7.013708e-029	0.000000e+000
5	-1.963400e-022	2.716627e-026	0.000000e+000
7	-2.877088e-023	3.146892e-027	0.000000e+000
9	-1.963400e-022	2.716627e-026	0.000000e+000
12	-9.175707e-027	1.629370e-031	0.000000e+000
13	1.160369e-023	-1.219551e-027	0.000000e+000
16	-2.557773e-022	5.424698e-026	0.000000e+000
18	3.623462e-022	-1.873086e-025	0.000000e+000
20	2.639407e-022	-5.908244e-025	0.000000e+000
22	7.408468e-021	-4.850248e-025	0.000000e+000
24	1.061653e-020	-1.104395e-023	0.000000e+000

[0080]

[表2]〈実施例2〉

第1の物体～第1面の距離: 75.686mm

i	ri	di	ni	
1	297.627	19.776	1.56000	
2	-1115.696	328.484		
3	-160.548	18.000	1.56000	
4	2147.160	22.180		
5	-203.139	-22.180		M 1
6	2147.160	-18.000	1.56000	
7	-160.548	-313.164		
8	0.000	365.344		M 2
9	1040.329	38.055	1.56000	
10	-387.846	1.000		
11	190.260	45.524	1.56000	
12	634.071	120.149		
13	249.471	18.000	1.56000	
14	127.136	325.385		
15	0.0(stop)	1.000		
16	234.780	33.014	1.56000	
17	-336.281	1.000		
18	144.606	35.000	1.56000	
19	968.634	16.804		
20	-793.316	35.000	1.56000	
21	-100.000	1.000		
22	88.381	25.000	1.56000	
23	0.000			

## aspherical surfaces

I	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	1.372961e-008	3.473252e-013	-3.195720e-016	9.094243e-020
3	0.000000e+000	2.151239e-008	9.541648e-012	4.776084e-016	7.380865e-020
5	0.000000e+000	4.532898e-009	1.823606e-012	1.222571e-016	1.631434e-020
7	0.000000e+000	2.151239e-008	9.541648e-012	4.776084e-016	7.380865e-020
10	0.000000e+000	5.040814e-010	2.625973e-013	-1.989714e-017	9.422664e-022
11	0.000000e+000	-5.072499e-009	1.389868e-013	-1.647184e-017	3.468047e-022
14	0.000000e+000	3.310157e-008	2.186614e-012	3.087404e-016	-3.918557e-020
17	0.000000e+000	1.858529e-007	1.966297e-011	2.828536e-015	2.203369e-019
20	0.000000e+000	-1.667572e-007	-3.379925e-011	7.374563e-015	-5.503285e-019
22	0.000000e+000	-4.993819e-008	7.233187e-012	-2.042203e-015	3.653495e-020

I	E	F	G
1	-1.434764e-023	1.206555e-027	-4.210407e-032
3	-2.063590e-023	4.825958e-027	-5.593776e-031
5	-8.711867e-026	2.964757e-028	1.525109e-033
7	-2.063590e-023	4.825958e-027	-5.593776e-031
10	-2.700833e-026	4.650686e-031	-4.262218e-036
11	3.873194e-028	-2.799981e-031	4.425078e-037
14	1.130858e-023	-1.107497e-027	6.450332e-032
17	1.188890e-022	-2.552801e-026	7.612208e-030
20	1.402677e-023	2.115981e-027	-8.027962e-031
22	-2.309114e-022	-5.109629e-028	5.804270e-030

[0081]

【表3】〈実施例3〉

第1の物体～第1面の距離: 72.674

i	ri	di	ni	
1	-593.057	25.376	1.56000	
2	-320.774	1.000		
3	463.082	27.632	1.56000	
4	-613.991	281.867		
5	-109.249	18.000	1.56000	
6	-981.687	9.159		
7	-178.361	-9.159		M 1
8	-951.687	-18.000	1.56000	
9	-109.249	-286.071		
10	1622.171	305.230		M 2
11	-1660.654	24.024	1.56000	
12	-365.238	1.000		
13	347.111	47.000	1.56000	
14	-1881.176	410.002		
15	8178.667	26.178	1.56000	
16	-212.848	75.049		
17	0.0(stop)	15.536		
18	268.041	33.816	1.56000	
19	-186.462	1.000		
20	87.102	20.173	1.56000	
21	350.675	1.000		
22	156.475	21.218	1.56000	
23	86.116	6.639		
24	168.945	20.602	1.56000	
25	-155.909	1.000		
26	105.283	20.916	1.56000	
27	-743.988			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	-7.252390e+000	-4.701121e-009	-6.090134e-013	-1.267089e-017	8.029170e-022
4	0.000000e+000	-4.766887e-008	2.452294e-012	-9.893034e-017	6.719603e-021
5	0.000000e+000	2.116808e-009	-1.611319e-013	1.025091e-015	5.091150e-019
7	0.000000e+000	-6.712584e-009	-8.093063e-013	2.887582e-017	9.870124e-020
9	0.000000e+000	2.116808e-009	-1.611319e-013	1.025091e-015	5.091150e-019
10	0.000000e+000	7.054971e-010	2.418241e-014	1.839107e-018	-7.963029e-023
12	0.000000e+000	4.707819e-009	-2.189427e-014	1.973642e-018	-1.068343e-023
13	0.000000e+000	8.092928e-010	-6.294695e-014	1.464461e-018	1.870403e-023
15	0.000000e+000	-1.344505e-007	1.853632e-012	1.650439e-016	-1.056871e-020
18	5.660213e+000	2.805319e-008	-5.963359e-011	5.837059e-017	8.483480e-019
20	-5.463452e-001	-1.335770e-007	-8.743479e-013	4.818362e-015	2.559222e-020
22	-1.401248e+000	-4.899956e-008	2.339115e-011	-1.429818e-014	-1.677957e-018
24	0.000000e+000	3.153044e-007	-8.376396e-012	1.928547e-014	-5.705932e-018
26	6.648275e-001	-1.189888e-007	6.781855e-012	-1.430235e-014	3.880028e-018

i	E	F	G
2	-4.085486e-025	1.924786e-029	0.000000e+000
4	-2.271393e-025	1.177205e-030	0.000000e+000
5	-1.657547e-023	6.847636e-027	0.000000e+000
7	-1.029026e-023	8.654760e-028	0.000000e+000
9	-1.657547e-023	6.847636e-027	0.000000e+000
10	4.433871e-028	2.201312e-032	0.000000e+000
12	-2.065745e-027	5.118720e-032	0.000000e+000
13	-3.513181e-027	7.676071e-032	0.000000e+000
15	-1.436154e-025	-9.351577e-030	0.000000e+000
18	-2.758585e-022	2.006196e-026	0.000000e+000
20	-2.770824e-022	-8.035716e-026	0.000000e+000
22	1.983183e-021	-1.380354e-025	0.000000e+000
24	-4.390899e-023	5.287086e-026	0.000000e+000
26	3.573891e-021	2.151859e-025	0.000000e+000

[0082]

[表4] (実施例4)



第1の物体～第1面の距離: 81.211

i	ri	di	ni	
1	2240.555	47.000	1.56000	
2	-312.927	1.000		
3	209.677	34.603	1.56000	
4	-314.137	150.769		
5	-819.717	-140.769		M 1
6	277.686	889.917		M 2
7	1806.118	19.445	1.56000	
8	-583.025	1.000		
9	0.0(stop)	73.850		
10	197.078	35.504	1.56000	
11	879.977	1.000		
12	126.409	28.494	1.56000	
13	168.675	98.900		
14	121.885	21.036	1.56000	
15	905.776			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	3.706794e-008	-5.144019e-012	6.973326e-017	-7.330968e-021
4	0.000000e+000	3.878903e-009	7.795334e-012	-6.781754e-016	5.265168e-020
5	0.000000e+000	8.445174e-009	3.143938e-011	-2.614011e-014	2.098089e-017
6	0.000000e+000	-2.863861e-009	-5.305438e-015	1.717130e-018	-3.511472e-023
7	0.000000e+000	-3.549063e-009	-1.408264e-013	1.931760e-019	5.091573e-023
10	0.000000e+000	-5.841639e-009	-2.405096e-013	4.288890e-018	-7.434790e-022
12	0.000000e+000	-5.913583e-009	-4.340165e-014	-1.651705e-017	-1.294295e-022
14	0.000000e+000	-8.534527e-008	-8.202426e-012	-7.411706e-016	-1.255475e-020

i	E	F	G
2	7.818988e-025	-1.099803e-029	0.000000e+000
4	-3.124244e-024	7.960469e-029	0.000000e+000
5	-1.054713e-020	2.300997e-024	0.000000e+000
6	-1.813806e-028	5.037276e-032	0.000000e+000
7	-4.316781e-027	8.877331e-032	0.000000e+000
10	2.311772e-026	-5.842989e-031	0.000000e+000
12	1.623655e-026	-3.143454e-030	0.000000e+000
14	-2.566756e-024	-3.831608e-028	0.000000e+000

【0083】

30 【表5】(実施例5)

45				46	
i	ri	di	ni	Obj-distance= 281.857	
1	-278.517	-185.013	-1.0	M1	
2	698.217	199.972		M2	
3	507.773	48.488	1.56000	FL1	
4	-238.848	9.987			
5	263.726	25.649	1.66000		
6	544.261	258.577			
7	-100.183	10.000	1.56000		
8	-348.126	108.113			
9	-205.877	10.000	1.56000		
10	-302.653	9.696			
11	0.0(stop)	11.355			
12	388.065	23.350	1.56000		
13	-153.114	45.670			
14	227.862	40.204	1.56000		
15	-163.407	1.004			
16	82.650	12.336	1.56000		
17	80.232	7.123			
18	118.960	10.000	1.56000		
19	64.261	1.697			
20	56.346	44.698	1.56000		
21	-655.354				

$$\beta = 1/6$$

$$L = 1005\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	1.497949e+000	5.904355e-008	4.604214e-012	-6.840581e-016	-4.605410e-019
2	3.802520e+000	-2.958077e-008	-4.331805e-013	-3.956055e-017	1.351662e-020
3	0.000000e+000	-1.196795e-008	-2.011294e-013	9.452577e-019	3.436798e-022
6	0.000000e+000	-5.231213e-009	-3.200408e-013	-7.768341e-018	1.291916e-022
8	0.000000e+000	2.948640e-008	-6.117758e-012	-5.828601e-016	-1.299053e-019
10	0.000000e+000	1.391954e-007	-1.481745e-011	-9.656686e-016	2.464843e-020
13	0.000000e+000	9.88863e-008	1.876874e-011	-3.517423e-016	1.878125e-019
14	0.000000e+000	-1.684359e-009	-1.027341e-011	-6.807870e-016	4.062904e-019
16	0.000000e+000	-1.178575e-007	4.129293e-012	4.790552e-015	8.697392e-019
19	0.000000e+000	1.390299e-008	-3.249927e-010	-4.391543e-014	1.252755e-016
20	0.000000e+000	2.089833e-007	-3.189110e-010	-5.080159e-014	1.188278e-016

i	E	F	G
1	4.455246e-022	-9.166535e-026	0.000000e+000
2	-3.311509e-024	2.709388e-028	0.000000e+000
3	-1.264170e-026	1.297626e-031	0.000000e+000
6	2.676252e-027	-1.441611e-031	0.000000e+000
8	1.266055e-023	-2.869330e-027	0.000000e+000
10	6.808416e-024	2.160253e-027	0.000000e+000
13	-1.242980e-023	4.020013e-028	0.000000e+000
14	-4.999088e-023	2.234236e-027	0.000000e+000
16	-4.381816e-022	6.665268e-026	0.000000e+000
19	-7.292427e-020	1.490664e-023	0.000000e+000
20	-6.999891e-020	1.483259e-023	0.000000e+000

【0084】

【表6】〈实施例6〉

47	i	ri	di	ni	Obj-distance= 50.000
1	182.669	30.784	1.56000		
2	-503.082	207.487	-1.0	M1	
3	-210.424	-187.803		M2	
4	659.854	188.194		FL1	
5	444.311	36.819	1.56000		
6	-258.965	10.000			
7	453.477	20.966	1.56000		
8	-60557.268	242.048			
9	40075.824	10.000	1.56000		
10	138.423	106.449			
11	-315.120	10.000	1.56000		
12	-568.730	9.619			
13	0.0(stop)	12.608			
14	594.545	31.653	1.56000		
15	-138.456	36.327			
16	237.603	34.661	1.56000		
17	-150.971	0.100			
18	86.895	17.884	1.56000		
19	114.792	5.157			
20	161.292	10.000	1.56000		
21	48.459	2.549			
22	50.928	29.428	1.56000		
23	-7294.344				

$$\beta = 1/5$$

$$L = 956\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.00000e+000	2.099767e-008	9.783077e-013	-1.844192e-016	3.604034e-020
3	5.00000e+000	5.501181e-007	1.471305e-010	2.886973e-014	-5.770432e-017
4	-4.00000e+000	-9.108110e-009	-4.299510e-013	-1.502878e-017	3.309710e-021
5	0.00000e+000	-2.136611e-008	4.694331e-013	1.022387e-017	-1.187939e-021
6	0.00000e+000	-9.037445e-009	3.670281e-013	2.497754e-017	-1.935627e-021
10	0.00000e+000	1.834298e-007	-9.750639e-012	-4.421365e-015	-1.558851e-018
12	0.00000e+000	9.777784e-008	-1.873380e-012	-2.797969e-015	0.646417e-019
15	0.00000e+000	8.427543e-011	1.174046e-011	5.170272e-016	-9.544492e-020
16	0.00000e+000	3.081549e-008	-1.715163e-011	-1.340386e-015	4.768602e-019
18	0.00000e+000	-2.081579e-007	-2.247876e-011	7.527512e-015	2.070478e-018
21	0.00000e+000	2.662651e-007	-3.356811e-010	-5.994494e-014	9.696048e-017
22	0.00000e+000	3.826198e-007	-2.597161e-010	-5.670062e-014	7.056558e-017

i	E	F	G
2	-4.028724e-024	1.813820e-028	0.000000e+000
3	2.143537e-020	-3.240090e-024	0.000000e+000
4	-7.115890e-025	4.508207e-029	0.000000e+000
5	3.965841e-026	-6.232492e-031	0.000000e+000
8	9.346277e-026	-2.137993e-030	0.000000e+000
10	-7.137854e-023	-1.911788e-026	0.000000e+000
12	-2.470678e-022	2.056952e-026	0.000000e+000
15	3.689421e-023	-4.095568e-027	0.000000e+000
16	-4.768922e-023	1.934145e-027	0.000000e+000
18	-5.194783e-022	1.217812e-025	0.000000e+000
21	-1.088463e-019	3.144081e-023	0.000000e+000
22	-9.170412e-020	2.592177e-023	0.000000e+000

49				50	
i	ri	di	ni	Obj-distance= 50.000	
1	586.085	16.642	1.56000		
2	-710.026	244.154			
3	-293.735	-213.130	-1.0	M1	
4	634.175	224.502		M2	
5	682.102	18.310	1.56000	FL1	
6	-893.803	0.100			
7	223.331	68.784	1.56000		
8	726.029	73.196			
9	244.650	29.831	1.56000		
10	754.199	319.081			
11	213.429	15.000	1.56000		
12	104.913	106.241			
13	0.0(stop)	20.000			
14	712.703	86.305	1.56000		
15	-278.062	3.439			
16	182.736	24.810	1.56000		
17	-564.680	0.782			
18	157.087	23.136	1.56000		
19	1255.657	1.227			
20	87.955	50.999	1.56000		
21	123.472				

$$\beta = 1/5$$

$$L = 1199\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	3.201613e-008	3.554666e-013	-3.442541e-016	8.565884e-020
3	-1.672235e+000	2.280202e-008	-7.013732e-013	3.718998e-017	-2.862300e-021
4	-1.049283e+000	1.235688e-008	-1.490507e-012	7.744144e-016	-3.612880e-019
6	0.000000e+000	2.918278e-008	4.292516e-015	6.272355e-018	-7.663849e-022
9	0.000000e+000	1.320709e-008	-8.609941e-013	1.501924e-017	-1.136497e-021
12	0.000000e+000	1.980383e-007	2.532422e-011	3.138382e-015	4.147537e-019
15	0.000000e+000	-1.871714e-008	-6.639558e-012	2.887450e-016	-2.996064e-020
16	0.000000e+000	-3.265199e-008	-6.424945e-012	-9.334562e-016	5.226466e-020
18	0.000000e+000	-2.362902e-008	-2.527146e-012	1.656380e-015	2.693269e-020
21	0.000000e+000	2.563403e-008	-8.361181e-011	-1.336716e-015	7.803202e-018

i	E	F	G
2	-1.071073e-023	5.207120e-028	0.000000e+000
3	1.492277e-025	-2.707991e-030	0.000000e+000
4	9.419452e-023	-9.922151e-027	0.000000e+000
6	4.479081e-026	-7.629337e-031	0.000000e+000
9	4.453112e-026	-1.452102e-030	0.000000e+000
12	2.365835e-023	1.782122e-026	0.000000e+000
15	2.959532e-024	-6.298400e-029	0.000000e+000
16	3.674846e-026	1.155101e-028	0.000000e+000
18	-6.493817e-024	-4.440784e-028	0.000000e+000
21	3.786297e-022	-7.589609e-025	0.000000e+000

【0086】

【表8】〈实施例8〉

S1				52
i	ri	di	ni	Obj-distance= 50.000
1	283.541	20.452	1.56000	
2	-1053.836	121.738		
3	387.920	5.000	1.56000	
4	229.873	124.483		
5	-291.999	-124.483	-1.0 M1	
6	229.873	-5.000	-1.56	
7	387.920	-91.603	-1.0	
8	881.192	91.603		M2
9	387.920	5.000	1.56000	
10	229.873	134.534		
11	1316.372	24.857	1.56000 FL1	
12	-643.793	0.100		
13	290.316	45.191	1.56000	$\beta = 1/5$
14	-3338.651	27.518		$L = 1198\text{mm}$
15	258.455	38.225	1.56000	$NA = 0.6$
16	708.139	372.871		
17	143.891	15.000	1.56000	
18	87.306	105.457		
19	0.0(stop)	20.000		
20	794.943	80.807	1.56000	
21	-245.392	1.206		
22	219.487	25.203	1.56000	
23	-440.290	0.297		
24	156.783	20.641	1.56000	
25	3004.077	0.391		
26	91.029	52.047	1.56000	
27	147.896			

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	1.670163e-008	-7.564550e-013	7.640310e-017	-8.895236e-021
4	0.000000e+000	-2.210204e-008	3.615438e-012	-2.715457e-016	1.987678e-020
5	-1.612890e+000	2.100848e-008	2.048446e-013	-9.687279e-017	9.141985e-021
6	0.000000e+000	-2.210204e-008	3.615438e-012	-2.715457e-016	1.987678e-020
8	2.782076e+000	1.108410e-008	8.595356e-013	-4.263225e-017	-8.502443e-020
10	0.000000e+000	-2.210204e-008	3.615438e-012	-2.715457e-016	1.987678e-020
12	0.000000e+000	4.440282e-009	-3.621140e-013	2.380928e-018	9.305837e-023
15	0.000000e+000	-1.135774e-008	-4.288698e-013	6.421899e-018	-2.225858e-022
18	0.000000e+000	1.483922e-007	1.741862e-011	2.796320e-015	3.491280e-019
21	0.000000e+000	1.354475e-008	-2.828203e-012	-1.671056e-018	3.582427e-020
22	0.000000e+000	-1.099866e-008	-2.113914e-012	-4.900973e-016	4.480872e-020
24	0.000000e+000	-2.754027e-008	-3.324771e-012	1.073081e-018	5.780953e-020
27	0.000000e+000	-2.478578e-008	1.119494e-011	-4.674713e-014	1.755113e-017

i	E	F	G
2	1.090188e-024	-5.939842e-029	0.000000e+000
4	-1.063676e-024	2.691088e-030	0.000000e+000
5	-5.285028e-025	1.391005e-029	0.000000e+000
6	-1.063676e-024	2.691088e-030	0.000000e+000
8	2.574157e-023	-2.657189e-027	0.000000e+000
10	-1.063676e-024	2.691088e-030	0.000000e+000
12	-7.574790e-027	1.413732e-031	0.000000e+000
15	2.852148e-028	7.381569e-032	0.000000e+000
18	8.679435e-024	1.093535e-026	0.000000e+000
21	-2.719953e-024	1.13154e-028	0.000000e+000
22	2.024346e-025	-8.888050e-029	0.000000e+000
24	-1.099840e-023	2.651758e-028	0.000000e+000
27	-5.370134e-021	8.559204e-025	0.000000e+000

53

54

i	ri	di	ni	Obj-distance= 51.000
1	-1615.127	22.814	1.56000	
2	-265.701	23.200		
3	1692.112	34.549	1.56000	LP1
4	-329.343	239.736		
5	-126.569	15.000	1.56000	LN1
6	1807.475	23.600		
7	-187.707	-23.600	-1.0	M1
8	1807.475	-15.000	-1.56	
9	-126.569	-239.736	-1.0	
10	-329.343	-34.549	-1.56	LP1
11	1692.112	-3.300	-1.0	M2
12	-816.892	3.300		
13	1292.112	34.549	1.56000	LP1
14	-329.343	292.223		
15	2851.612	15.834	1.56000	FL1
16	-927.736	0.100		
17	304.902	27.947	1.56000	
18	1478.904	10.000		
19	218.615	27.908	1.56000	
20	527.237	169.549		
21	278.804	10.000	1.56000	
22	96.885	178.224		
23	-147.170	10.000	1.56000	
24	2898.421	31.011		
25	415.702	30.726	1.56000	
26	-182.240	9.109		
27	0.0(stop)	45.578		
28	190.492	37.309	1.56000	
29	-267.624	7.977		
30	95.129	41.064	1.56000	
31	116.210	15.586		
32	91.034	43.273	1.56000	
33	-411.423			

$$\beta = 1/5$$

$$L = 1166\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	5.530494e-008	1.163655e-012	-6.262393e-017	-2.528751e-021
4	0.000000e+000	-1.892175e-008	4.266967e-013	1.121436e-017	-3.030043e-021
5	0.000000e+000	1.663615e-007	9.890835e-012	-1.309392e-015	6.427099e-019
7	9.165216e-004	2.675984e-008	1.318128e-012	2.694592e-017	-3.327467e-020
9	0.000000e+000	1.663615e-007	9.890835e-012	-1.309392e-015	6.427099e-019
10	0.000000e+000	-1.892175e-008	4.266967e-013	1.121436e-017	-3.030043e-021
12	5.000000e+000	-9.389111e-009	1.539504e-013	9.799722e-018	-2.247802e-021
14	0.000000e+000	-1.892175e-008	4.266967e-013	1.121436e-017	-3.030043e-021
16	0.000000e+000	1.255592e-008	-3.238808e-013	5.818116e-017	-7.054003e-021
17	0.000000e+000	4.718829e-009	-5.145083e-013	7.657683e-017	-9.189123e-021
22	0.000000e+000	-1.928959e-007	-1.154247e-011	4.702416e-017	-5.121045e-020
23	0.000000e+000	-3.035320e-007	-1.933833e-011	-2.158991e-015	-4.900557e-019
26	0.000000e+000	2.223625e-008	5.913986e-012	-1.487766e-018	4.859942e-020
28	0.000000e+000	1.714079e-008	-1.881507e-012	-6.712043e-016	5.005422e-020
31	0.000000e+000	-1.372666e-008	7.658069e-011	-5.828110e-015	1.273951e-018
32	0.000000e+000	-5.643649e-007	1.451319e-011	-6.462196e-016	-8.490119e-018
i	E	F	G		
2	6.200738e-025	-2.301378e-029	0.000000e+000		
4	1.639180e-025	-3.981772e-030	0.000000e+000		
6	-2.796760e-022	4.335286e-026	0.000000e+000		
7	-4.892624e-024	1.494940e-027	0.000000e+000		
9	-2.796760e-022	4.335286e-026	0.000000e+000		
10	1.639180e-025	-3.981772e-030	0.000000e+000		
12	1.259049e-025	-3.392339e-030	0.000000e+000		
14	1.639180e-025	-3.981772e-030	0.000000e+000		
16	4.425044e-026	-1.068897e-029	0.000000e+000		
17	5.661917e-025	-1.358877e-029	0.000000e+000		
22	6.968981e-024	-1.633272e-027	0.000000e+000		
23	6.415923e-023	-3.092374e-026	0.000000e+000		
26	-3.316785e-024	1.932364e-028	0.000000e+000		
28	-2.320660e-024	6.485526e-029	0.000000e+000		
31	-4.331702e-023	6.899488e-027	0.000000e+000		
32	2.192732e-022	-3.845738e-026	0.000000e+000		

【0088】

【表10】〈実施例10〉

55

56

i	ri	di	ni	Obj-distance= 50.835
1	146.528	21.753	1.56000	
2	279.100	29.521		
3	-775.358	24.514	1.56000	LP1
4	-290.509	319.054		
5	-127.746	15.000	1.56000	LN1
6	901.597	15.068		
7	-165.915	-15.068	-1.0	M1
8	901.597	-15.000	-1.56	LN1
9	-127.746	-319.054	-1.0	
10	-290.509	-24.514	-1.56	LP1
11	-775.358	-2.093	-1.0	M2
12	-1091.384	2.093		
13	-775.358	24.514	1.56000	LP1
14	-290.509	319.054		
15	-127.746	15.000	1.56000	FL1
16	901.597	15.068		
17	-165.915	-15.068	1.56000	
18	901.597	-15.000		
19	-127.746	-319.054	1.56000	
20	-290.509	-24.514		
21	-775.358	-2.093	1.56000	
22	-1091.384	2.093		
23	-775.358	24.514	1.56000	
24	-290.509	319.054		
25	-127.746	15.000	1.56000	
26	901.597	15.068		
27	-165.915	-15.068	1.56000	
28	901.597	-15.000		
29	-127.746	-319.054	1.56000	
30	-290.509	-24.514		
31	-775.358	-2.093	1.56000	
32	-1091.384	2.093		
33	-775.358	24.514	1.56000	

$$\beta = 1/5$$

$$L = 1160\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## spherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.00000e+000	8.855896e-008	-1.231783e-012	1.505671e-016	-1.994882e-020
4	0.00000e+000	-2.107372e-008	5.599304e-013	-3.486775e-017	4.285967e-021
5	0.00000e+000	1.483901e-007	-8.642930e-012	-1.428407e-016	-3.220462e-019
7	-1.883904e-001	3.492160e-008	2.674541e-013	-1.621879e-017	-4.134260e-020
9	0.00000e+000	1.483901e-007	-8.642930e-012	-1.428407e-016	-3.220462e-019
10	0.00000e+000	-2.107372e-008	5.599304e-013	-3.486775e-017	4.285967e-021
12	-3.641713e+000	-1.337813e-008	6.893453e-013	-2.932265e-017	3.056970e-021
14	0.00000e+000	-2.107372e-008	5.599304e-013	-3.486775e-017	4.285967e-021
16	0.00000e+000	-1.271307e-008	1.326186e-012	-6.548573e-017	2.762947e-021
19	0.00000e+000	-2.542101e-008	1.512560e-012	-8.198475e-017	3.416616e-021
22	0.00000e+000	-1.103975e-007	6.579457e-012	-1.251416e-016	-1.137648e-020
23	0.00000e+000	-6.584060e-007	-9.731531e-011	-4.823089e-016	-1.676955e-018
26	0.00000e+000	-2.178389e-007	-1.364187e-011	1.018419e-014	-1.147459e-018
28	0.00000e+000	-1.274240e-007	-3.607152e-011	8.050135e-015	-1.032745e-018
31	0.00000e+000	6.891976e-008	9.356366e-012	3.785313e-016	3.015742e-018
32	0.00000e+000	-1.469212e-007	-7.704012e-012	-3.664705e-015	3.444260e-018
i	E	F	G		
2	2.274840e-024	-9.987248e-029	0.000000e+000		
4	-2.059811e-025	2.643547e-031	0.000000e+000		
5	6.834179e-023	-3.369361e-027	0.000000e+000		
7	4.884293e-024	-2.923001e-028	0.000000e+000		
9	6.834179e-023	-3.369361e-027	0.000000e+000		
10	-2.059811e-025	2.643547e-031	0.000000e+000		
12	-1.856907e-025	2.516890e-030	0.000000e+000		
14	-2.059811e-025	2.643547e-031	0.000000e+000		
16	-7.218715e-026	8.926086e-031	0.000000e+000		
19	-9.168937e-026	1.136094e-030	0.000000e+000		
22	3.478710e-024	-1.372775e-028	0.000000e+000		
23	1.557766e-021	-4.766741e-026	0.000000e+000		
26	1.658131e-022	9.278466e-027	0.000000e+000		
28	8.644422e-023	-4.735347e-027	0.000000e+000		
31	-7.985615e-022	1.332556e-025	0.000000e+000		
32	-5.454904e-022	-8.938622e-026	0.000000e+000		

【0089】

【表11】〈実施例11〉

57					58				
i	ri	di	ni	Obj-distance					
1	543.485	18.225	1.58000	50.952					
2	-348.358	404.377							
3	-117.591	15.000	1.58000	LN1					
4	-11246.509	21.694							
5	-181.192	-21.694	-1.0	M1					
6	-11246.509	-15.000	-1.56	LN1					
7	-117.591	-352.697	-1.0						
8	-2026.523	-18.862	-1.56	LP1					
9	461.050	-4.621	-1.0						
10	-976.405	4.621							
11	461.050	18.862	1.56000	M2					
12	-2026.523	398.890							
13	1172.423	42.780	1.58000	FL1					
14	-501.353	0.404							
15	315.855	47.177	1.56000						
16	1252.980	3.907							
17	200.947	27.200	1.56000						
18	240.640	296.917							
19	-192.453	10.000	1.56000						
20	602.106	179.581							
21	-185.356	10.000	1.56000						
22	458.885	32.245							
23	541.516	30.056	1.56000						
24	-149.805	8.704							
25	0.0(top)	45.181							
26	179.275	33.860	1.56000						
27	-370.567	9.275							
28	54.892	43.811	1.56000						
29	81.799	18.120							
30	68.314	41.095	1.56000						
31	-681.697								

$$\beta = 1/4$$

$$L = 1430\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.00000e+000	4.575380e-008	7.817822e-013	-5.383907e-016	1.371733e-019
3	0.00000e+000	1.832675e-008	-2.154582e-013	-1.520651e-016	-8.218511e-021
5	8.415167e-001	1.155130e-008	1.103292e-013	-1.408211e-017	-1.720226e-021
7	0.00000e+000	1.832675e-008	-2.154582e-013	-1.520651e-016	-8.218511e-021
8	0.00000e+000	2.639867e-009	5.897618e-012	-2.706670e-016	2.977375e-020
10	6.525900e-001	-3.453255e-010	5.892838e-013	-1.705759e-016	1.444844e-020
12	0.00000e+000	2.539857e-009	5.897518e-012	-2.706670e-016	2.977375e-020
14	0.00000e+000	-2.178001e-009	4.103517e-013	-1.817801e-017	5.715837e-022
15	0.00000e+000	4.463480e-009	3.163776e-014	7.085203e-019	8.000000e+000
17	0.00000e+000	-1.282492e-008	3.641378e-013	-2.668752e-017	6.095086e-022
20	0.00000e+000	2.691714e-008	3.794681e-012	1.766293e-016	-1.533138e-026
21	0.00000e+000	-2.046925e-007	8.688717e-012	4.769864e-016	-8.554669e-020
24	0.00000e+000	1.946195e-008	5.791056e-012	-3.912959e-016	4.417233e-020
26	0.00000e+000	2.141413e-009	-8.073433e-013	-6.990201e-016	6.444734e-020
29	0.00000e+000	-2.143697e-008	3.327692e-011	-5.094587e-015	1.783172e-018
30	0.00000e+000	-2.020052e-007	-8.522637e-012	-7.090867e-015	1.840499e-018

i	E	F	G
1	-1.760415e-023	8.840230e-028	0.000000e+000
3	6.179583e-025	8.769913e-028	0.000000e+000
5	-5.814168e-026	4.284447e-029	0.000000e+000
7	6.179583e-025	8.769913e-028	0.000000e+000
8	-1.502713e-024	2.476219e-029	0.000000e+000
10	-1.403417e-025	-1.422820e-029	0.000000e+000
12	-1.502713e-024	2.476219e-029	0.000000e+000
14	-1.027112e-026	8.042716e-032	0.000000e+000
15	3.066558e-028	0.000000e+000	0.000000e+000
17	-8.993226e-027	-1.018383e-031	0.000000e+000
20	6.283744e-024	-5.389611e-028	0.000000e+000
21	5.835557e-024	-1.386454e-027	0.000000e+000
24	-3.359010e-024	9.801933e-029	0.000000e+000
26	-3.453019e-024	7.077619e-029	0.000000e+000
29	-4.057529e-022	2.496099e-026	0.000000e+000
30	-1.434596e-021	-8.941485e-027	0.000000e+000

[0090]

【表12】〈实施例12〉



59				60
	ri	di	ni	Obj-distance= 63.346
1	973.794	19.006	1.56000	
2	-274.730	408.564		
3	-117.937	15.000	1.56000	LN1
4	-21944.448	22.129		
5	-183.531	-22.129	-1.0	M1
6	-21944.448	-15.000	-1.66	LN1
7	-117.937	-391.508	-1.0	
8	-2342.325	-16.507	-1.66	LP1
9	447.067	-0.506	-1.0	
10	-376.377	0.506		M2
11	447.067	16.507	1.56000	LP1
12	-2342.325	373.416		
13	1097.080	47.121	1.56000	FL1
14	-516.510	27.862		
15	280.430	47.913	1.56000	
16	718.518	7.108		
17	198.349	27.611	1.56000	
18	249.428	300.922		
19	-216.473	10.000	1.56000	
20	445.322	181.217		
21	-171.590	10.000	1.56000	
22	666.307	32.257		
23	625.617	30.422	1.56000	
24	-151.533	8.809		
25	0.0(stop)	47.280		
26	180.626	36.149	1.56000	
27	-335.594	9.318		
28	100.005	44.237	1.56000	
29	88.936	17.909		
30	70.805	41.541	1.56000	
31	-1049.267			

$$\beta = 1/4$$

$$L = 1430\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	4.255133e-008	1.395979e-013	-1.009633e-016	4.472929e-021
3	0.000000e+000	1.715982e-008	1.867849e-013	1.918570e-017	-5.826782e-020
5	8.550872e-001	1.081079e-008	1.651602e-013	7.022919e-018	-6.098034e-021
7	0.000000e+000	1.715982e-008	1.867849e-013	1.918570e-017	-5.826782e-020
8	0.000000e+000	3.098651e-009	2.787833e-013	-1.677261e-016	1.884901e-020
10	9.872928e-001	1.142429e-009	4.039291e-013	-8.905924e-017	4.728326e-021
12	0.000000e+000	3.098651e-009	2.787833e-013	-1.677261e-016	1.884901e-020
14	0.000000e+000	-8.058628e-009	5.469068e-013	-1.863318e-017	4.646973e-022
15	0.000000e+000	8.819915e-010	1.397684e-013	-9.400188e-019	0.000000e+000
17	0.000000e+000	-1.822385e-008	3.451273e-013	-2.486759e-017	4.418373e-022
20	0.000000e+000	3.055326e-008	4.873760e-012	2.383916e-016	-8.806035e-021
21	0.000000e+000	-1.728562e-007	1.235438e-011	8.006503e-016	-6.090344e-020
24	0.000000e+000	3.819315e-008	6.635548e-012	-2.544128e-016	3.425391e-020
26	0.000000e+000	5.160883e-009	-9.687870e-013	-5.829555e-016	5.807106e-020
29	0.000000e+000	-8.273895e-009	2.604783e-011	-4.590743e-016	2.375151e-018
30	0.000000e+000	-1.430127e-007	-8.553894e-012	-7.235770e-015	4.163768e-018

i	E	F	G
1	1.933908e-024	-3.573554e-028	0.000000e+000
3	9.440074e-024	1.973849e-028	0.000000e+000
5	4.929424e-025	1.438389e-029	0.000000e+000
7	9.440074e-024	1.973849e-028	0.000000e+000
8	-7.086691e-025	6.530829e-030	0.000000e+000
10	2.776075e-025	-3.188109e-029	0.000000e+000
12	-7.086691e-025	6.530829e-030	0.000000e+000
14	-6.797904e-027	4.401325e-032	0.000000e+000
15	1.176176e-027	0.000000e+000	0.000000e+000
17	-5.160404e-027	-1.986704e-031	0.000000e+000
20	7.977247e-024	-8.335599e-028	0.000000e+000
21	-4.004980e-024	-5.894950e-028	0.000000e+000
24	-2.492308e-024	4.150762e-029	0.000000e+000
26	-3.458190e-024	9.835304e-029	0.000000e+000
29	-7.369796e-022	6.477749e-026	0.000000e+000
30	-2.463212e-021	2.053279e-025	0.000000e+000

【0091】

【表13】〈实施例13〉

61		62	
i	ri	di	ni
1	-459.459	-335.573	-1.0
2	3067.293	748.381	
3	-739.933	-391.713	-1.0
4	-573.829	392.713	
5	0.0(stop)	60.000	
6	-130.197	54.213	1.56000
7	-119.178	0.100	
8	117.405	51.990	1.56000
9	519.563	6.291	
10	78.099	41.649	1.56000
11	1057.227	0.100	
12	1050.175	15.000	1.56000
13	87.469	11.904	
14	326.920	29.310	1.56000
15	-1292068.739		

Obj-distance= 385.595

 $\beta = 1/5$ 

L = 1100mm

NA = 0.6

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	2.151232e+000	2.074850e-008	1.028497e-012	1.000198e-016	-1.543777e-020
2	1.565028e+000	-1.030439e-008	-8.656324e-014	1.017720e-017	-3.830427e-021
3	-1.579007e-001	-1.873321e-010	-2.793987e-016	-3.564540e-021	7.688159e-026
4	-1.552277e+000	-9.150769e-009	-8.581363e-014	-1.464695e-017	2.978012e-021
7	0.000000e+000	-1.113320e-008	6.313114e-012	-4.925043e-018	6.437342e-020
8	0.000000e+000	5.404994e-009	-2.805582e-012	1.463407e-016	-4.789462e-020
10	0.000000e+000	-1.606239e-007	1.691804e-012	-2.762745e-015	1.781576e-019
13	0.000000e+000	2.498212e-007	1.350239e-011	2.359108e-014	5.612084e-019
14	0.000000e+000	4.979099e-007	-1.344689e-010	4.588479e-014	-2.537504e-017

i	E	F	G
1	3.311515e-024	-2.995664e-028	0.000000e+000
2	5.161873e-025	-2.729459e-029	0.000000e+000
3	-1.127394e-030	7.746168e-036	0.000000e+000
4	-3.412103e-025	1.755156e-029	0.000000e+000
7	-4.171136e-024	1.891343e-028	0.000000e+000
8	4.264568e-024	-3.356973e-028	0.000000e+000
10	-4.625225e-023	-2.846830e-028	0.000000e+000
13	-2.105753e-021	1.040548e-024	0.000000e+000
14	7.660574e-021	-1.459197e-024	0.000000e+000

[0092]

[表14] 〈実施例14〉

63					64	
i	ri	di	ni		Obj-distance= 397.959	
1	-447.799	-347.959	-1.0	M1		
2	11489.229	811.432		M2		
3	-804.784	-422.009	-1.0	FM1		
4	-1121.103	-15.000	-1.56	LF		
5	-431.869	-5.561	-1.0			
6	-1235.236	5.561		FM2		
7	-431.869	15.000	1.56000	LF		
8	-1121.103	423.009				
9	0.0(stop)	56.691				
10	-128.913	19.560	1.56000			
11	-108.272	0.309				
12	124.318	28.713	1.56000			
13	694.622	0.100				
14	78.512	42.819	1.56000			
15	219.568	9.184				
16	-741.750	15.000	1.56000			
17	92.545	14.848				
18	73.579	20.344	1.56000			
19	-2120.514					

$\beta = /5$   
 $L = 1100\text{mm}$   
 $NA = 0.6$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	1.651069e+000	2.374926e-008	1.702835e-012	1.390779e-017	2.614732e-020
2	-4.000000e+000	-1.043013e-008	-1.517620e-013	4.986190e-018	-2.371680e-021
3	-7.638388e-002	-1.823532e-010	-2.150504e-016	-1.108786e-021	1.340316e-026
6	-3.827967e+000	-8.674101e-009	-1.051516e-013	-5.752138e-018	6.145431e-022
11	0.000000e+000	4.892931e-008	-5.416482e-013	5.381903e-016	1.678633e-020
12	0.000000e+000	7.048042e-008	2.284679e-012	-9.626527e-016	3.338522e-019
14	0.000000e+000	-3.924140e-008	-8.582640e-012	1.843538e-015	-3.326077e-019
17	0.000000e+000	8.970756e-007	3.402220e-011	3.720934e-014	1.395150e-017
18	0.000000e+000	7.110875e-007	-5.771239e-011	5.210874e-014	-8.240921e-018

i	E	F	G
1	-7.722632e-024	7.560718e-028	0.000000e+000
2	2.760856e-025	-1.354385e-029	0.000000e+000
3	-1.379314e-031	5.943291e-037	0.000000e+000
6	-5.871993e-026	2.213211e-030	0.000000e+000
11	-6.073286e-024	6.405299e-028	0.000000e+000
12	-4.157626e-023	2.508234e-027	0.000000e+000
14	2.612172e-024	2.192107e-027	0.000000e+000
17	-5.673999e-021	3.032464e-024	0.000000e+000
18	6.249971e-021	9.050086e-031	0.000000e+000

65			66	
i	ri	di	ni	Obj-distance= 50.000
1	204.213	15.833	1.56000	
2	3825.784	413.292		
3	-106.572	15.000	1.56000	LN1
4	-857.552	17.304		
5	-187.582	-17.304	-1.0	M1
6	-857.552	-15.000	-1.56	LN1
7	-106.572	-408.626	-1.0	
8	-1909.161	951.629		M2
9	-858.848	-459.710	-1.0	FM1
10	-214.544	-26.074	-1.56	LF
11	-423.622	-4.701	-1.0	
12	-291.919	4.701		FM2
13	-423.622	26.074	1.56000	LF
14	-214.544	400.010		
15	0.0(stop)	59.759		
16	424.663	15.005	1.56000	
17	-637.707	0.101		
18	135.307	20.950	1.56000	
19	482.071	0.101		
20	86.180	31.425	1.56000	$\beta = 1/4$
21	180.516	9.606		$L = 1190\text{mm}$
22	108.812	15.000	1.56000	$NA = 0.6$
23	55.211	16.293		
24	82.713	23.334	1.56000	
25	-343.416			

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	7.845851e-008	3.480979e-012	-2.192632e-016	2.652275e-020
2	0.000000e+000	1.287363e-007	5.213100e-012	-3.909292e-016	-2.757054e-020
3	0.000000e+000	5.511695e-008	2.742398e-012	2.976607e-016	-8.135784e-020
5	9.757356e-001	2.245223e-008	4.961850e-013	4.876359e-017	-9.218124e-021
7	0.000000e+000	5.511695e-008	2.742398e-012	2.976607e-016	-8.135784e-020
8	-2.324211e-001	-3.741519e-009	-2.965745e-014	3.165593e-019	-1.721869e-022
9	-1.351560e-001	-4.438792e-012	4.120307e-018	6.561688e-023	1.639361e-026
10	0.000000e+000	1.134555e-008	-5.474633e-013	-1.044929e-016	1.349222e-020
12	2.922694e+000	2.325940e-008	-2.396438e-013	-1.043028e-016	2.382476e-020
14	0.000000e+000	1.134555e-008	-5.474633e-013	-1.044929e-016	1.349222e-020
16	0.000000e+000	-5.994350e-008	-4.756412e-012	-8.685536e-017	-1.026534e-019
18	0.000000e+000	-8.290830e-008	-4.984870e-012	1.936271e-015	8.131779e-021
20	0.000000e+000	4.860989e-008	1.213638e-011	-2.550341e-015	9.673512e-020
23	0.000000e+000	-4.300839e-007	-3.408055e-011	-3.710689e-015	-2.158579e-018
24	0.000000e+000	-3.101203e-007	-4.766363e-011	1.545142e-015	1.795645e-020

i	E	F	G
1	-1.461145e-023	1.281999e-027	0.000000e+000
2	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
3	3.995845e-023	-2.211509e-027	0.000000e+000
5	3.224225e-024	-1.287665e-028	0.000000e+000
7	3.995845e-023	-2.211509e-027	0.000000e+000
8	1.248827e-026	-4.508298e-032	0.000000e+000
9	-3.247603e-031	1.929812e-036	0.000000e+000
10	-5.294016e-025	-6.522725e-030	0.000000e+000
12	-1.683354e-024	3.413090e-029	0.000000e+000
14	-5.294016e-025	-6.522725e-030	0.000000e+000
16	2.849939e-023	-2.173374e-027	0.000000e+000
18	-1.631059e-023	2.226964e-027	0.000000e+000
20	-3.275165e-023	5.637523e-027	0.000000e+000
23	-3.457497e-021	4.909090e-025	0.000000e+000
24	-1.908395e-021	8.087019e-025	0.000000e+000

67				68	
i	ri	di	ni	Obj-distance= 50.267	
1	282.936	21.255	1.56000		
2	3684.211	449.103			
3	-267.457	15.000	1.56000	LN1	
4	-1371.221	5.446			
5	-321.384	-5.446	-1.0	M1	
6	-1371.221	-15.000	-1.56	LN1	
7	-267.457	-338.525	-1.0		
8	-1540.132	368.971		M2	
9	440.699	35.890	1.56000	FL1	
10	-1887.670	362.966			
11	-922.602	-332.666	-1.0	FM1	
12	8422.125	-15.000	-1.56	LF	
13	-462.452	-5.300	-1.0		
14	-1026.228	5.270		FM2	
15	-462.452	15.000	1.56000	LF	
16	8422.125	268.193			
17	0.0(stop)	64.503			
18	237.890	23.809	1.56000		
19	2990.697	12.038			
20	135.928	34.579	1.56000		
21	622.051	3.846			
22	144.391	38.185	1.56000		
23	205.170	2.454			
24	114.728	15.000	1.56000		
25	72.687	9.881			
26	78.971	64.113	1.56000		
27	2179.982				

$$\beta = 1/5$$

$$L = 1190\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	4.950479e-008	-1.556107e-012	1.719144e-017	2.105431e-021
3	0.000000e+000	-5.113917e-009	-2.873876e-012	2.602766e-017	6.788996e-020
5	7.999895e-001	-1.716298e-009	-1.163867e-012	2.214635e-018	2.170496e-020
7	0.000000e+000	-5.113917e-009	-2.873876e-012	2.602766e-017	6.788996e-020
8	5.000000e+000	3.994191e-009	-6.866541e-014	-1.799842e-018	-3.213142e-023
9	0.000000e+000	-4.745677e-009	9.727308e-015	-1.323010e-019	1.552321e-024
11	-3.742879e-001	-9.987061e-011	-8.267759e-016	2.319422e-020	-3.735582e-026
12	0.000000e+000	1.256240e-008	2.224328e-012	-1.743188e-015	1.674418e-019
14	3.922730e+000	-2.955486e-008	-3.015675e-013	-1.303534e-015	8.709164e-020
16	0.000000e+000	1.256240e-008	2.224328e-012	-1.743188e-015	1.674418e-019
20	0.000000e+000	-4.228533e-008	-1.756337e-012	-1.341137e-016	-8.216530e-021
22	0.000000e+000	1.397442e-008	-6.652675e-013	1.180182e-016	1.951605e-020
25	0.000000e+000	4.243718e-008	1.008140e-011	-5.060486e-016	-5.298502e-020
26	0.000000e+000	-1.152710e-007	4.633120e-012	-7.184290e-016	-1.928268e-019

i	E	F	G
1	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
3	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
5	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
7	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
8	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
9	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
11	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
12	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
14	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
16	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
20	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
22	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
25	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
26	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000

69				70	
i	ri	di	mi	Obj-distance= 64.302	
1	145.868	15.654	1.56000		
2	277.033	421.902			
3	-331.764	15.000	1.56000	LN1	
4	427.187	37.533			
5	-243.163	-37.533	-1.0	M1	
6	427.187	-15.000	-1.56	LN1	
7	-331.764	-400.174	-1.0		
8	-1050.590	462.707		M2	
9	1082.335	45.592	1.56000	FL1	
10	-508.181	419.093			
11	-556.173	-340.231	-1.0	FM1	
12	890.632	-49.792	-1.56	LF	
13	129.563	-12.279	-1.0		
14	501.066	12.279		FM2	
15	129.563	49.792	1.56000	LF	
16	890.632	308.936			
17	0.0(stop)	34.831			
18	212.603	15.000	1.56000		
19	358.696	0.100			
20	154.082	17.867	1.56000		
21	14558.550	0.107			
22	231.915	24.251	1.56000		
23	-182.460	0.246			
24	102.219	15.000	1.56000		
25	70.401	6.731			
26	78.313	40.387	1.56000		
27	-274.349				

$$\beta = 1/4$$

$$L = 1188\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	-4.543384e-008	2.008795e-013	-5.987597e-017	-7.178408e-022
3	0.000000e+000	-1.396774e-008	-1.312696e-012	-4.099589e-017	-1.204130e-021
5	2.136452e+000	7.442417e-009	1.306120e-013	2.191394e-018	-3.414108e-023
7	0.000000e+000	-1.396774e-008	-1.312696e-012	-4.099589e-017	-1.204130e-021
8	3.874765e-001	-5.080134e-009	-2.169803e-013	-7.383666e-018	-2.178985e-022
9	0.000000e+000	-3.096618e-009	6.122886e-015	-3.324130e-020	-2.496687e-026
11	-6.480972e-001	7.109927e-010	-3.912529e-015	3.016030e-021	-2.009020e-027
13	0.000000e+000	-1.535424e-008	-4.271143e-013	-5.423533e-017	2.156146e-021
14	-2.947254e-001	1.369848e-009	-1.353039e-013	1.572367e-017	-1.208804e-021
15	0.000000e+000	-1.535424e-008	-4.271143e-013	-5.423533e-017	2.156146e-021
20	0.000000e+000	-1.254255e-007	-3.689620e-012	-1.110856e-015	1.994369e-019
22	0.000000e+000	-1.374196e-007	-1.437806e-011	3.602627e-015	-3.618777e-019
25	0.000000e+000	8.431891e-008	-2.787295e-011	-9.578735e-015	-5.256927e-018
26	0.000000e+000	7.697163e-008	1.013236e-011	-6.851146e-015	-4.256775e-018

i	E	F	G
1	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
3	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
5	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
7	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
8	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
9	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
11	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
13	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
14	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
15	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
20	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
22	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
25	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
26	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000

71			72	
i	ri	di	ni	Obj-distance= 51.375
1	294.105	24.410	1.56000	
2	-2765.072	417.053		
3	-116.294	15.000	1.56000	LN1
4	-2872.831	20.722		
5	-186.216	-20.722	-1.0	M1
6	-2872.831	-15.000	-1.56	LN1
7	-116.294	-383.291	-1.0	
8	-1505.962	429.623		
9	444.041	63.934	1.56000	M2
10	-3099.408	334.815		FL1
11	-948.436	-300.836	-1.0	
12	-314.227	-16.435	-1.56	FM1
13	-824.068	-7.484	-1.0	
14	-325.089	7.484		FM2
15	-824.068	16.435	1.56000	
16	-314.227	301.796		
17	0.0(stop)	55.267		
18	654.524	17.101	1.56000	
19	-493.112	0.100		
20	127.646	36.817	1.56000	
21	9721.169	9.587		
22	124.513	19.292	1.56000	
23	107.027	11.036		
24	94.369	15.000	1.56000	
25	93.351	9.999		
26	115.073	47.374	1.56000	
27	-373.527			

$$\beta = 1/4$$

$$L = 1197\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	3.270469e-008	-2.618357e-012	4.062834e-016	-5.211535e-020
3	0.000000e+000	4.411046e-009	-5.444659e-013	-4.482642e-017	1.266365e-019
5	9.780048e-001	1.163827e-008	2.616720e-013	-9.065597e-019	1.119604e-020
7	0.000000e+000	4.411046e-009	-5.444659e-013	-4.482642e-017	1.266365e-019
8	-1.539537e+000	3.786900e-009	-9.453622e-014	3.248795e-018	-2.012056e-022
9	0.000000e+000	-4.149266e-009	2.307771e-015	-1.751852e-021	-1.213130e-024
11	-3.776756e+000	-4.342111e-010	-2.394400e-015	5.496039e-020	-1.406823e-024
12	0.000000e+000	-1.673853e-009	-3.281730e-012	6.683323e-016	-8.393102e-020
14	-3.600157e+000	-3.076829e-008	-3.309550e-012	6.132785e-016	-1.002042e-019
16	0.000000e+000	-1.673853e-009	-3.281730e-012	6.683323e-016	-8.393102e-020
19	0.000000e+000	1.130381e-008	1.048332e-012	-2.689716e-016	1.609677e-020
20	0.000000e+000	-2.363339e-008	-1.791151e-012	-4.488565e-016	-3.302356e-020
22	0.000000e+000	4.460228e-009	-2.267365e-012	-2.653562e-016	2.051402e-020
25	0.000000e+000	3.016193e-007	2.161092e-011	-3.603928e-016	-2.089239e-018
26	0.000000e+000	2.718387e-007	2.254954e-011	-7.855692e-016	-2.167393e-018

i	E	F	G
1	3.766459e-024	-1.147383e-028	0.000000e+000
3	-1.676440e-023	2.206450e-027	0.000000e+000
5	-9.520370e-025	9.545144e-029	0.000000e+000
7	-1.676440e-023	2.206450e-027	0.000000e+000
8	1.042016e-026	-2.633116e-031	0.000000e+000
9	1.190683e-029	-3.996052e-035	0.000000e+000
11	1.831918e-029	-9.562670e-035	0.000000e+000
12	4.958336e-024	-1.328994e-028	0.000000e+000
14	7.328052e-024	-3.110175e-028	0.000000e+000
16	4.958336e-024	-1.328994e-028	0.000000e+000
19	-7.303308e-025	3.915870e-029	0.000000e+000
20	-6.049533e-025	-2.110230e-029	0.000000e+000
22	5.955447e-023	-4.660843e-027	0.000000e+000
25	7.756637e-022	-7.997079e-027	0.000000e+000
26	7.445927e-022	-4.578951e-026	0.000000e+000

73			74	
i	ri	di	ni	Obj-distance= 51.000
1	351.655	16.754	1.56000	
2	-8365.385	1.500		
3	200.954	22.369	1.56000	
4	591.866	247.671		
5	-88.814	15.000	1.56000	LN1
6	-402.056	7.000		
7	-151.144	-7.000	-1.0	M1
8	-402.056	-15.000	-1.56	LN1
9	-88.814	-240.671	-1.0	
10	1366.187	349.374		M2
11	19831.441	26.737	1.56000	FL1
12	-735.739	244.705		
13	-566.816	-219.048	-1.0	FM1
14	-133.579	-14.510	-1.56	LF
15	-205.618	-1.148	-1.0	
16	-202.153	1.148		FM2
17	-205.618	14.510	1.56000	LF
18	-133.579	224.997		
19	0.0(stop)	-4.929		
20	-119.907	20.312	1.56000	
21	-246.626	7.094		
22	153.705	24.772	1.56000	
23	-385.679	18.913		
24	97.386	42.291	1.56000	
25	177.767	7.651		
26	95.442	31.717	1.56000	
27	364.058	6.848		
28	103.255	19.448	1.56000	
29	-1048.656			

$$\beta = 1/5$$

$$L = 934\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	-8.093313e-008	4.522834e-012	-2.018073e-016	2.267148e-020
3	0.000000e+000	6.511812e-008	-3.723599e-012	1.013032e-016	-2.501488e-021
5	0.000000e+000	2.476497e-008	-5.194074e-012	2.934576e-014	-6.771024e-018
7	-8.634921e-002	5.766118e-008	1.400403e-011	1.171617e-014	-2.406379e-018
9	0.000000e+000	2.476497e-008	-5.194074e-012	2.934576e-014	-6.771024e-018
10	3.403605e+000	-2.532676e-009	4.911669e-014	1.807856e-018	-2.255506e-022
13	-5.700272e-001	1.734919e-010	1.781213e-015	-7.464135e-021	1.125815e-024
14	0.000000e+000	6.268611e-009	9.790240e-013	5.096073e-017	-4.749646e-020
16	-9.969546e-001	4.762518e-009	8.200176e-013	6.576997e-018	-5.959712e-020
18	0.000000e+000	6.268611e-009	9.790240e-013	5.096073e-017	-4.749646e-020
21	0.000000e+000	7.500151e-008	-2.370496e-011	-1.965330e-015	3.913950e-019
23	0.000000e+000	-5.983025e-009	2.383340e-011	-4.396313e-016	-2.197526e-019
24	0.000000e+000	4.080007e-008	-9.297261e-012	1.873727e-015	-1.418320e-019
26	0.000000e+000	-3.783040e-007	-1.883182e-012	-8.030466e-016	-7.057718e-019
28	0.000000e+000	-9.452418e-008	-1.957493e-011	-1.244651e-014	0.000000e+000

i	E	F	G
1	-3.670991e-024	2.228767e-028	0.000000e+000
3	1.383272e-024	-1.154892e-028	0.000000e+000
5	4.483389e-021	-9.723939e-025	0.000000e+000
7	8.068244e-022	-6.319119e-026	0.000000e+000
9	4.483389e-021	-9.723939e-025	0.000000e+000
10	1.792109e-026	-6.218030e-031	0.000000e+000
13	-3.288087e-029	4.085249e-034	0.000000e+000
14	1.007847e-023	2.645246e-029	0.000000e+000
16	1.769682e-023	-1.119411e-027	0.000000e+000
18	1.007847e-023	2.645246e-029	0.000000e+000
21	-1.267664e-023	-8.319497e-028	0.000000e+000
23	1.954211e-023	-3.173536e-029	0.000000e+000
24	1.171050e-023	-3.681475e-028	0.000000e+000
26	8.165762e-023	1.411746e-026	0.000000e+000
28	-2.398432e-022	-4.378158e-025	0.000000e+000



75			76	
i	ri	di	ni	Obj-distance= 50.000
1	245.198	40.746	1.56000	
2	565.312	378.944		
3	-198.743	15.000	1.56000	LN1
4	-553.813	2.806		
5	-383.608	-2.806	-1.0	M1
6	-553.813	-15.000	-1.56	LN1
7	-198.743	-358.732	-1.0	
8	6976.362	386.889		M2
9	355.685	51.490	1.56000	FL1
10	-12321.788	369.283		
11	-1028.093	-343.512	-1.0	FM1
12	730.908	-15.000	-1.56	LF
13	-1511.630	-0.100	-1.0	
14	-1023.030	0.070		FM2
15	-1511.630	15.000	1.56000	LF
16	730.908	323.513		
17	0.0(stop)	39.007		
18	302.719	22.983	1.56000	
19	-6847.780	21.360		
20	145.723	31.514	1.56000	
21	618.670	8.713		
22	147.653	25.174	1.56000	
23	391.950	8.285		
24	121.433	15.000	1.56000	
25	80.944	14.809		
26	94.829	68.564	1.56000	
27	-806.611			

$$\beta = 1/8$$

$$L = 1190\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	2.707002e-008	-8.717359e-013	1.291774e-017	-8.046083e-023
3	0.000000e+000	-1.285216e-008	-4.644289e-012	-1.098284e-015	4.074896e-020
5	1.853481e+000	-5.942386e-009	-1.921556e-012	-3.991601e-016	3.066166e-020
7	0.000000e+000	-1.285216e-008	-4.644289e-012	-1.098284e-015	4.074896e-020
8	4.692105e+000	6.776075e-009	-1.213133e-013	2.083765e-018	-3.379785e-023
9	0.000000e+000	-7.268271e-009	3.352308e-015	-1.357278e-019	-1.824547e-024
11	1.213373e+000	-1.515625e-010	-6.598956e-015	2.230157e-019	-3.018642e-024
12	0.000000e+000	2.663004e-009	-5.964634e-012	-3.132031e-015	3.139422e-019
14	3.818120e+000	-5.339360e-008	-6.525763e-012	-2.026068e-015	1.112273e-019
16	0.000000e+000	2.663004e-009	-5.964634e-012	-3.132031e-015	3.139422e-019
20	0.000000e+000	-4.537132e-008	-1.444034e-012	-6.237537e-017	-1.225622e-020
22	0.000000e+000	2.258810e-008	-2.784423e-012	-4.694218e-017	4.207858e-020
25	0.000000e+000	1.033200e-007	-6.071918e-012	-2.759843e-015	-3.195258e-019
26	0.000000e+000	-2.135939e-008	-6.495251e-012	-2.642392e-015	-2.963340e-019

i	E	F	G
1	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
3	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
5	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
7	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
8	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
9	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
11	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
12	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
14	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
16	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
20	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
22	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
25	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
26	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000

77			78		
i	ri	di	ni	Obj-distance= 50.487	
1	248.654	45.879	1.56000		
2	2498.279	433.450			
3	-430.357	17.451	1.56000	LN1	
4	1258.317	2.793			
5	-320.814	-2.793	-1.0	M1	
6	1258.317	-17.451	-1.56	LN1	
7	-430.357	-170.466	-1.0		
8	-566426.061	200.710		M2	
9	-1563.039	37.005	1.56000	FL1	
10	-250.953	361.172			
11	-765.976	-329.940	-1.0	FM1	
12	244.884	-15.000	-1.56	LF	
13	549.490	-6.231	-1.0		
14	-701.208	6.201		FM2	
15	549.490	15.000	1.56000	LF	
16	244.884	283.488			
17	0.0(stop)	46.600			
18	244.341	23.507	1.56000		
19	57346.724	0.100			
20	138.156	28.770	1.56000		
21	561.247	3.336			
22	145.732	37.036	1.56000		
23	260.318	4.990			
24	111.587	15.000	1.56000		
25	70.790	33.292			
26	75.408	49.617	1.56000		
27	5689.128				

$$\beta = 1/10$$

$$L = 1190\text{mm}$$

$$NA = 0.6$$

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	-2.521478e-009	-8.451485e-014	5.214505e-019	-2.685571e-023
3	0.000000e+000	-3.993741e-008	2.044280e-012	1.954503e-014	4.016803e-018
5	4.706536e+000	-4.082512e-008	-1.158264e-011	7.155566e-015	-2.269483e-019
7	0.000000e+000	-3.993741e-008	2.044280e-012	1.954603e-014	4.016803e-018
8	5.000000e+000	-3.971095e-009	-7.223464e-014	-1.084017e-018	6.587792e-024
9	0.000000e+000	-4.759165e-009	1.313843e-014	1.109392e-019	-1.230866e-024
11	3.289899e-001	-3.568080e-010	-1.380316e-015	1.016681e-020	-6.587533e-026
12	0.000000e+000	-2.613402e-008	-9.198710e-013	-1.784868e-016	2.018156e-020
14	-4.000000e+000	-3.882997e-008	-1.433855e-012	-1.916913e-016	4.859577e-022
16	0.000000e+000	-2.613402e-008	-9.198710e-013	-1.784868e-016	2.018156e-020
20	0.000000e+000	-4.145601e-008	-2.245516e-012	-8.585230e-017	-7.216150e-021
22	0.000000e+000	1.029827e-008	-4.482490e-015	1.152103e-017	1.349052e-020
25	0.000000e+000	1.056111e-007	8.819533e-012	3.490901e-016	2.003722e-020
26	0.000000e+000	-3.282437e-008	3.472717e-012	-3.391125e-016	-1.465019e-019

i	E	F	G
1	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
3	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
5	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
7	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
8	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
9	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
11	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
12	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
14	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
16	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
20	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
22	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
25	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000
26	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000

以上に説明した各実施形態によれば、193nm、157nmといった露光波長の短波長化や高NA化に対応することができ、瞳の中心部分の遮光（中抜け）がおこらず、ビームスプリッタのような素子を用いることなく小型軽量で光学素子の枚数を少なくすることができ、ミラーへの入射角が大きくなり、十分な像側作動距離、及び高い解像力や広い露光領域を確保でき、組み立て調整が容易で簡素な構成の投影光学系を実現することがで

きる。

【0100】

【発明の効果】以上、本発明によれば、構造が簡単で、組み立て調整が容易な投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法を得ることができ。

【図面の簡単な説明】

50 【図1】本発明の実施形態における投影光学系の一つの

構成例を示す概略図。

【図2】本発明の実施形態1の投影光学系において、群L2中に屈折レンズ群Rを配置した構成例を示す概略図。

【図3】本発明の実施形態2における基本的構成の概略図。

【図4】本発明の実施例1におけるレンズ構成の断面図。

【図5】本発明の実施例2におけるレンズ構成の断面図。

【図6】本発明の実施例3におけるレンズ構成の断面図。

【図7】本発明の実施例4におけるレンズ構成の断面図。

【図8】本発明の実施例1の収差図。

【図9】本発明の実施例2の収差図。

【図10】本発明の実施例3の収差図。

【図11】本発明の実施例4の収差図。

【図12】本発明の実施例5におけるフィールド光学系がすべてレンズ系の場合の光路図。

【図13】本発明の実施例6におけるフィールド光学系がすべてレンズ系の場合の光路図。

【図14】本発明の実施例7におけるフィールド光学系がすべてレンズ系の場合の光路図。

【図15】本発明の実施例8におけるフィールド光学系がすべてレンズ系の場合の光路図。

【図16】本発明の実施例9におけるフィールド光学系がすべてレンズ系の場合の光路図。

【図17】本発明の実施例10におけるフィールド光学系がすべてレンズ系の場合の光路図。

【図18】本発明の実施例11におけるフィールド光学系がすべてレンズ系の場合の光路図。

【図19】本発明の実施例12におけるフィールド光学系がすべてレンズ系の場合の光路図。

【図20】本発明の実施例13におけるフィールド光学系が2枚のミラーを有する場合の光路図。

【図21】本発明の実施例14におけるフィールド光学系が2枚のミラーを有する場合の光路図。

【図22】本発明の実施例15におけるフィールド光学系が2枚のミラーを有する場合の光路図。

【図23】本発明の実施例16におけるフィールド光学系が2枚のミラーを有する場合の光路図。

【図24】本発明の実施例17におけるフィールド光学系が2枚のミラーを有する場合の光路図。

【図25】本発明の実施例18におけるフィールド光学系が2枚のミラーを有する場合の光路図。

【図26】本発明の実施例19におけるフィールド光学系が2枚のミラーを有する場合の光路図。

【図27】本発明の実施例20におけるフィールド光学系が2枚のミラーを有する場合の光路図。

【図28】本発明の実施例21におけるフィールド光学系が2枚のミラーを有する場合の光路図。

【図29】本発明の実施例5の収差図。

【図30】本発明の実施例6の収差図。

【図31】本発明の実施例7の収差図。

【図32】本発明の実施例8の収差図。

【図33】本発明の実施例9の収差図。

【図34】本発明の実施例10の収差図。

【図35】本発明の実施例11の収差図。

10 【図36】本発明の実施例12の収差図。

【図37】本発明の実施例13の収差図。

【図38】本発明の実施例14の収差図。

【図39】本発明の実施例15の収差図。

【図40】本発明の実施例16の収差図。

【図41】本発明の実施例17の収差図。

【図42】本発明の実施例18の収差図。

【図43】本発明の実施例19の収差図。

【図44】本発明の実施例20の収差図。

【図45】本発明の実施例21の収差図。

20 【図46】本発明の実施例1～実施例12の数値パラメータの一覧図。

【図47】本発明の実施例13～実施例21の数値パラメータの一覧図。

【符号の説明】

G1 : 第1結像光学系

G2 : 第2結像光学系

L1 : 屈折レンズ群

L2 : 2枚のミラーを含む群

F : フィールドレンズ群

30 M1 : 第1のミラー

M2 : 第2のミラー

101 : 第1の物体

102 : 第2の物体

103 : 光学系の光軸

O : 物体面 (レチクル)

I : 像面 (ウェハー)

Gr1 : 第1結像系

Grf : フィールド光学系

Gr2 : 第2結像系

40 G1 : 正レンズ群

GM1 : 第1ミラー群

GM2 : 第2ミラー群

GFM2 : 第2フィールドミラー群

M1 : 凹面の第1ミラー

M2 : 第2ミラー

FM1 : 凹面の第1フィールドミラー

FM2 : 第2フィールドミラー

LN1 : 負レンズ

LP1 : 正レンズ

50 FL1 : 正レンズ

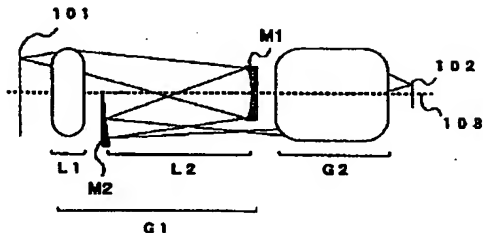
LF: レンズ

m: メリディオナル像面

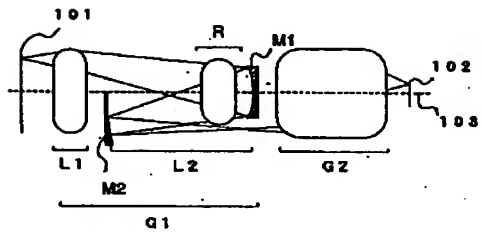
\* s: サジタル像面

\* y: 像高

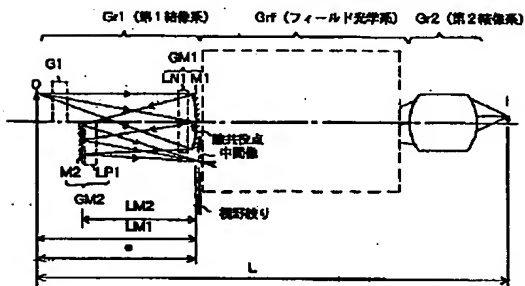
【図1】



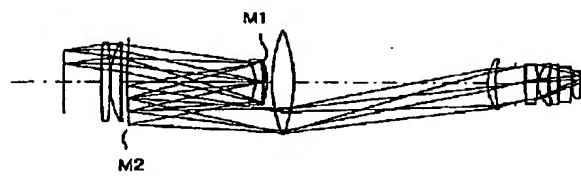
【図2】



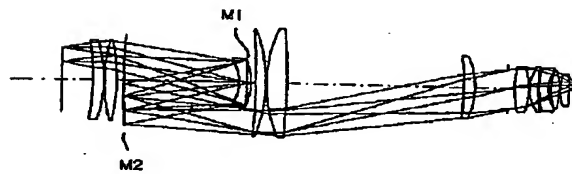
【図3】



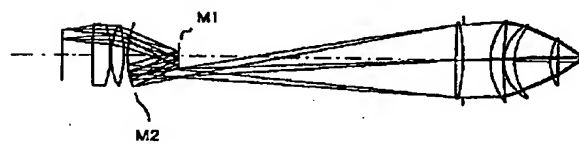
【図4】



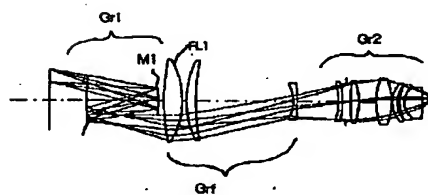
【図6】



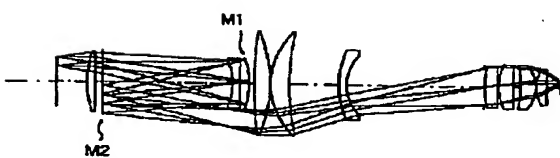
【図7】



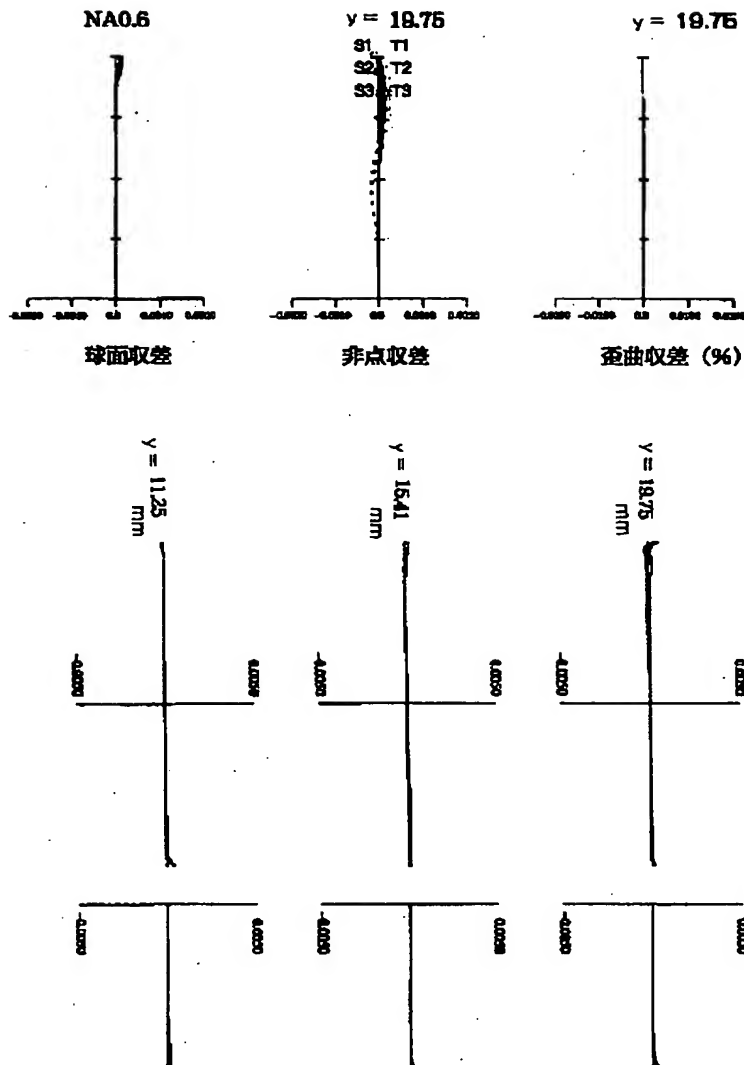
【図12】



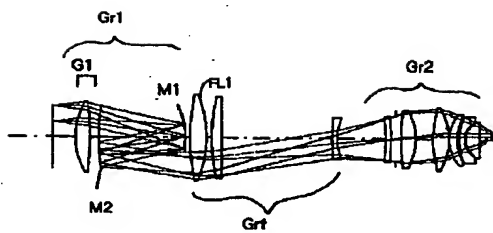
【図5】



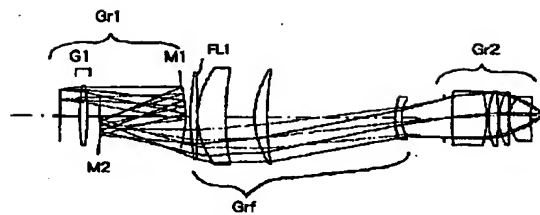
【図8】



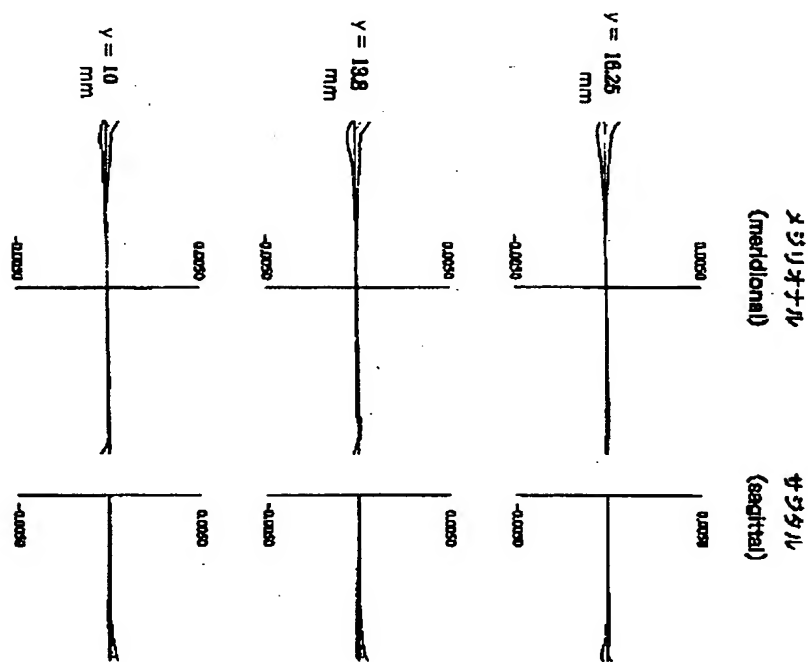
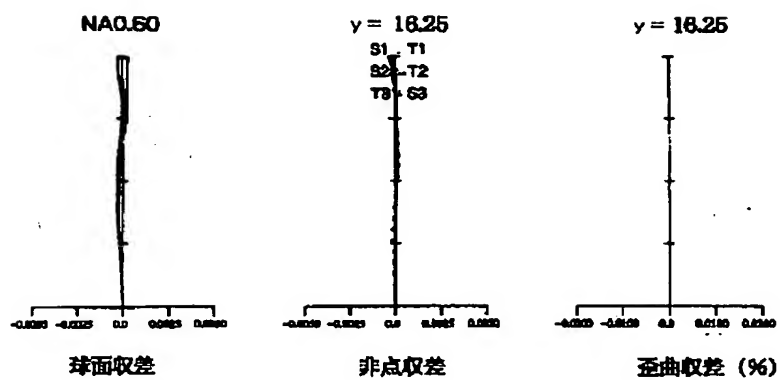
【図13】



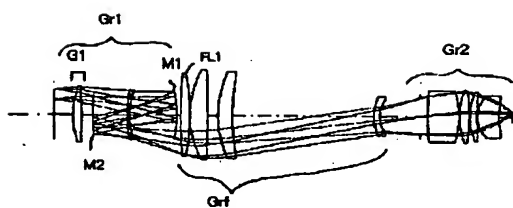
【図14】



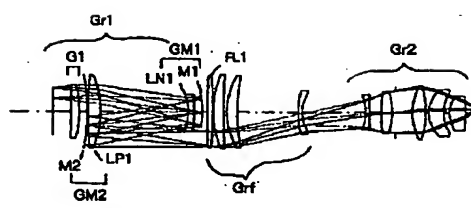
【図9】



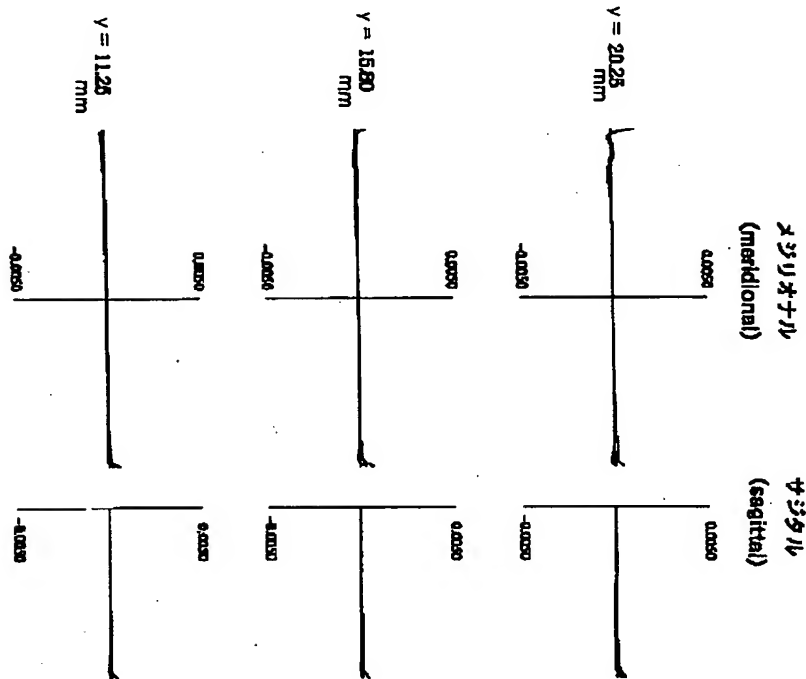
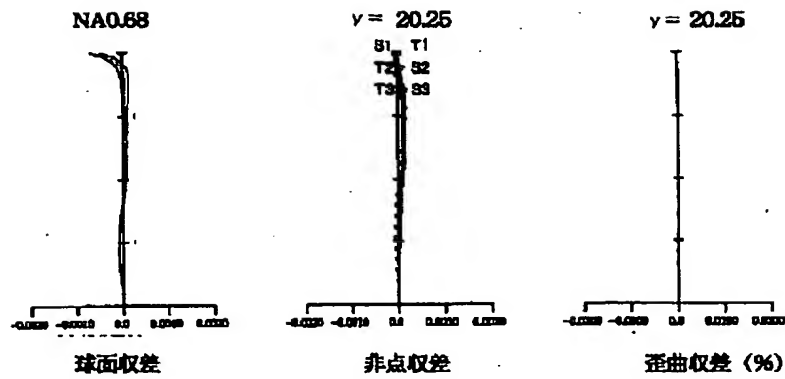
【図15】



【図16】

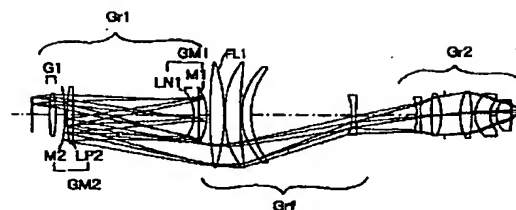
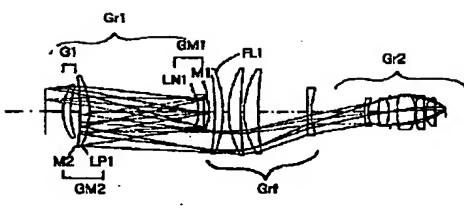


【図10】

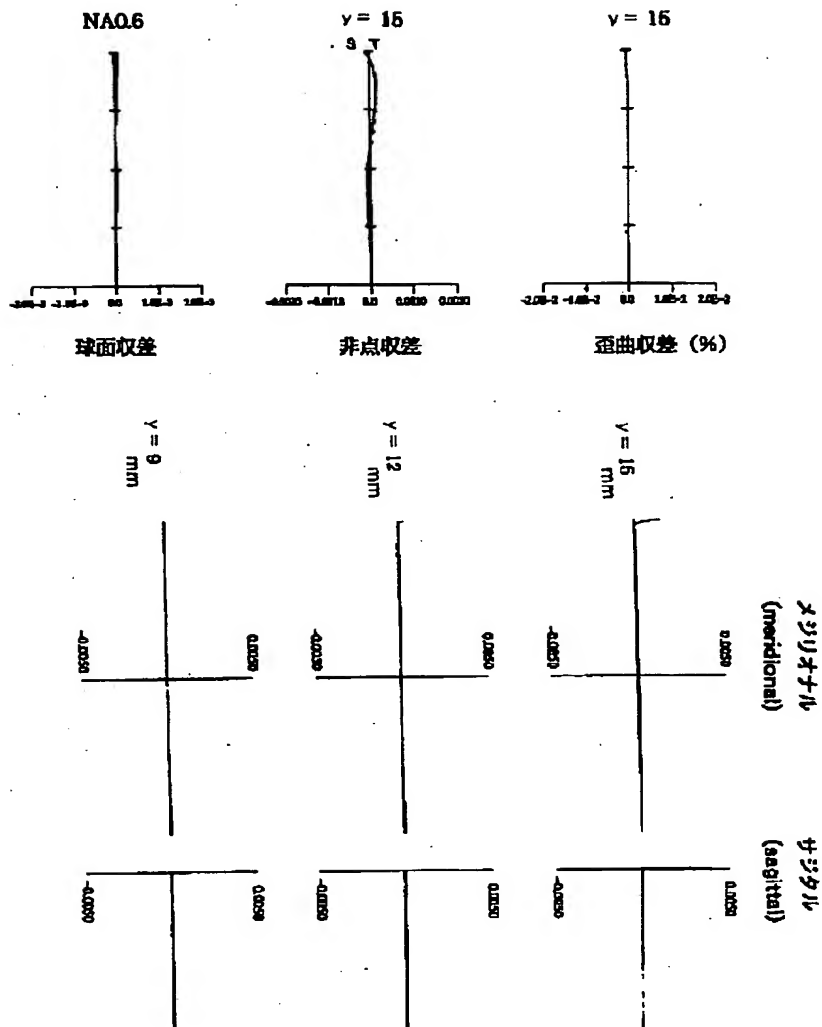


【図17】

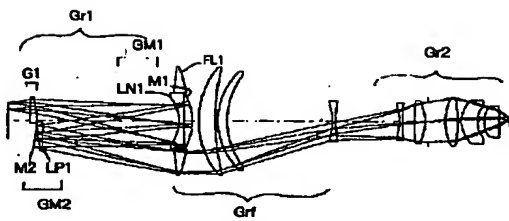
【図18】



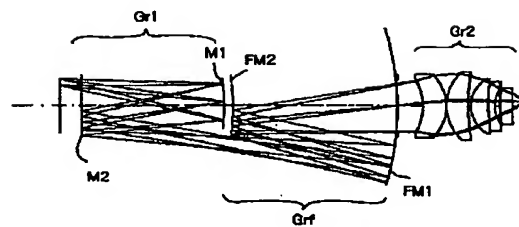
【図11】



【図19】

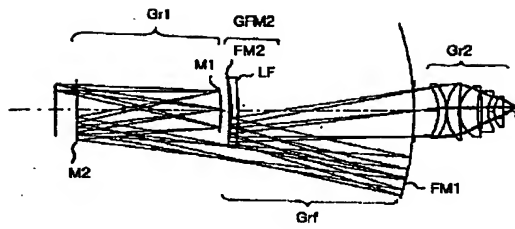


【図20】

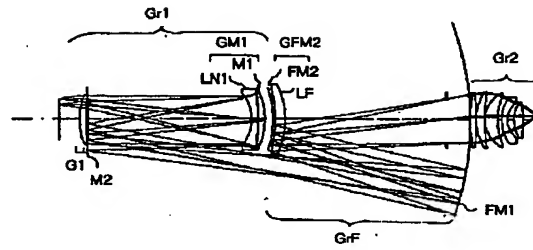




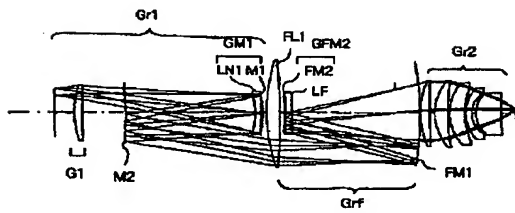
【図21】



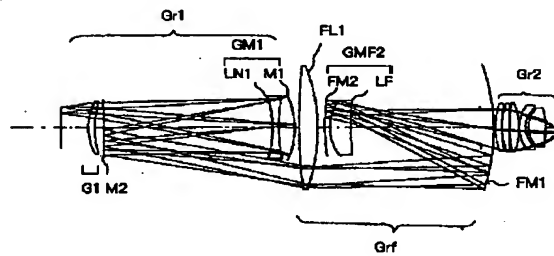
【図22】



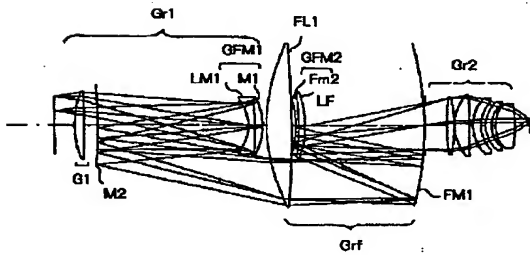
【図23】



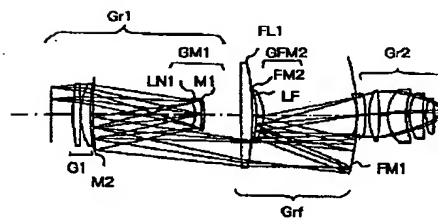
【図24】



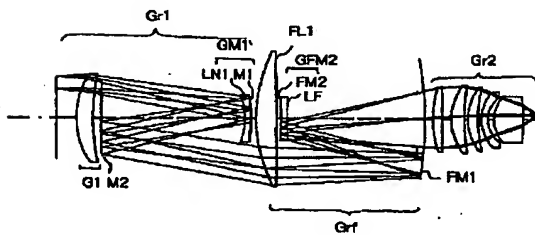
【図25】



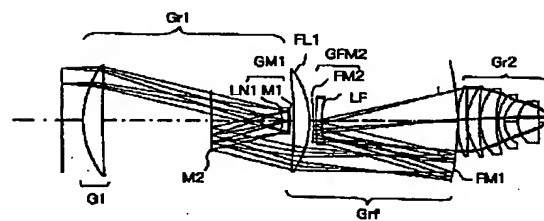
【図26】



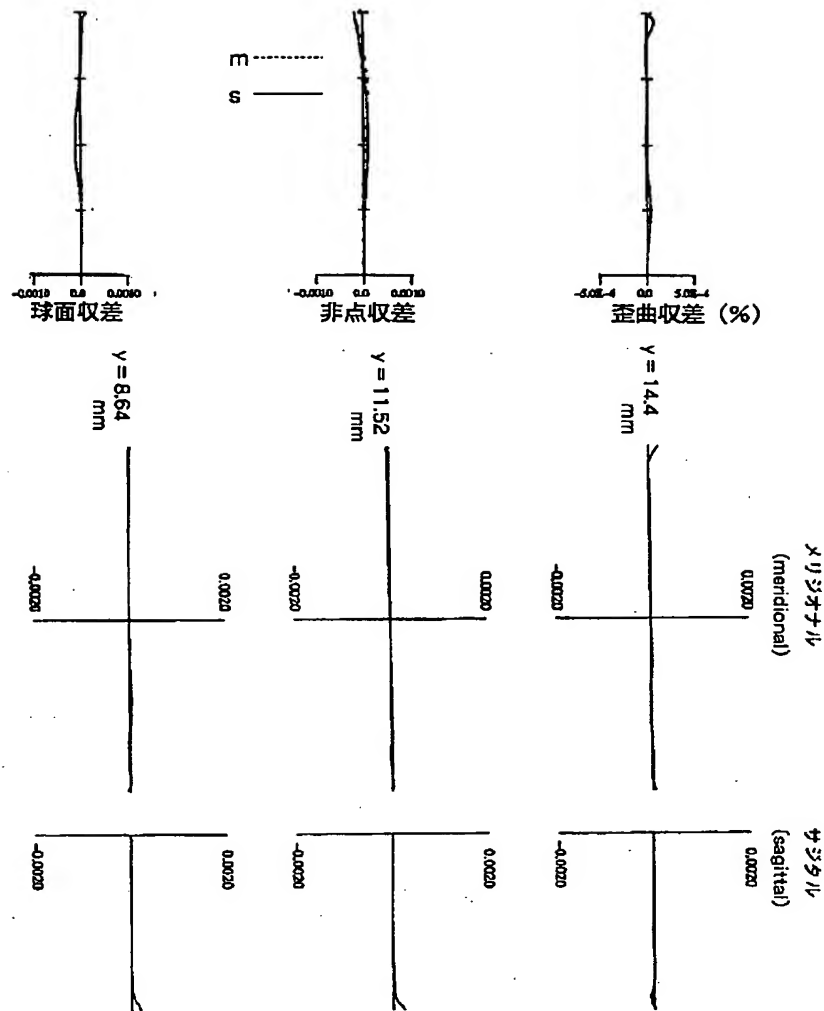
【図27】



【図28】



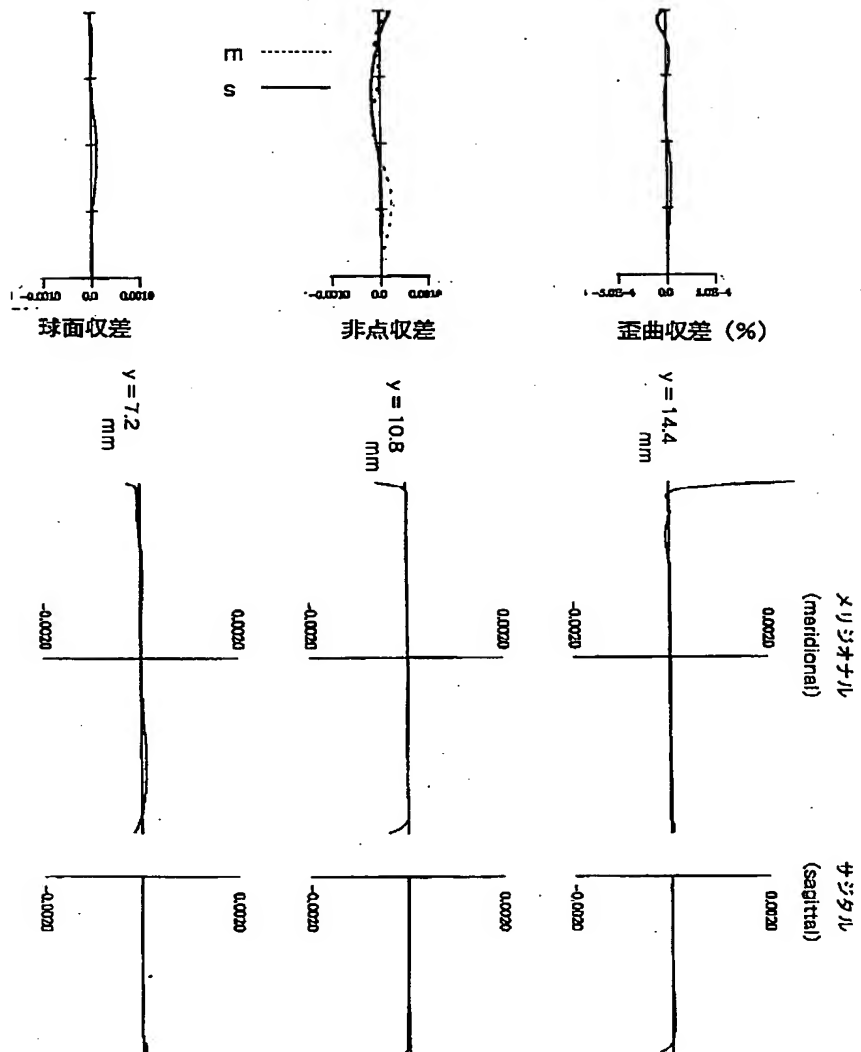
【図29】



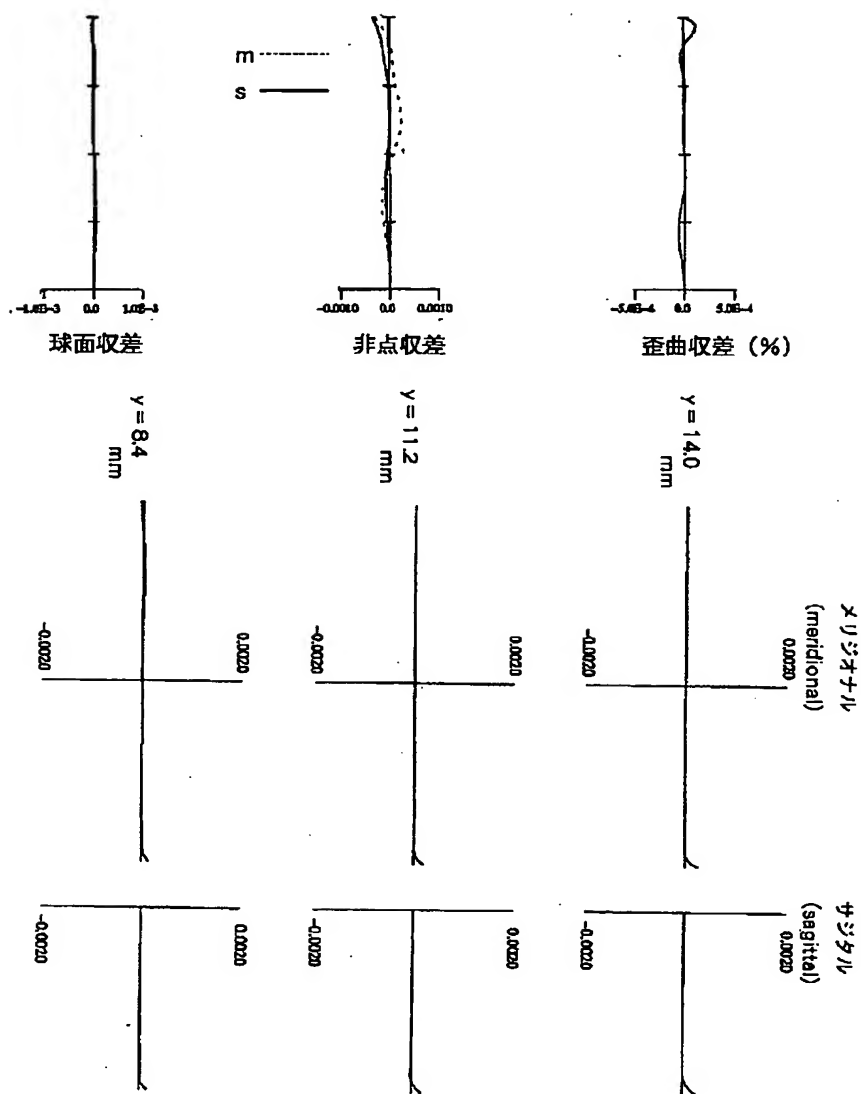
【図47】

図47の例番号	18	14	15	16	17	18	19	20	21
002	-0.122	-0.095	-0.141	-0.267	-0.183	-0.185	-0.153	-0.284	-0.280
001	-1.278	-1.250	-2.606	-3.838	-1.395	-2.071	-1.188	-38.871	-2.009
01	0.005007	0.004919	0.013943	0.005904	0.008933	0.013972	0.018751	0.005985	0.007175
01/02	0.004999	0.004638	0.013838	0.006898	0.008986	0.013968	0.018743	0.006977	0.007171
01/01	1.164	1.088	0.914	0.958	1.113	0.925	1.000	1.316	0.879
01/1/(01+22+02)	0.874	0.827	1.035	1.537	0.779	0.950	0.845	15.187	1.634
02/01	0.800	0.874	0.882	0.683	0.818	0.793	0.727	0.773	0.347
01/1	0.351	0.352	0.430	0.455	0.465	0.441	0.387	0.410	0.482
17/001	-0.679	-0.778	-0.687	-0.670	-0.894	-0.798	-0.883	0.119	-0.561
01/01/02	0.565	0.620	0.749	0.595	0.716	0.556	0.622	0.568	0.802

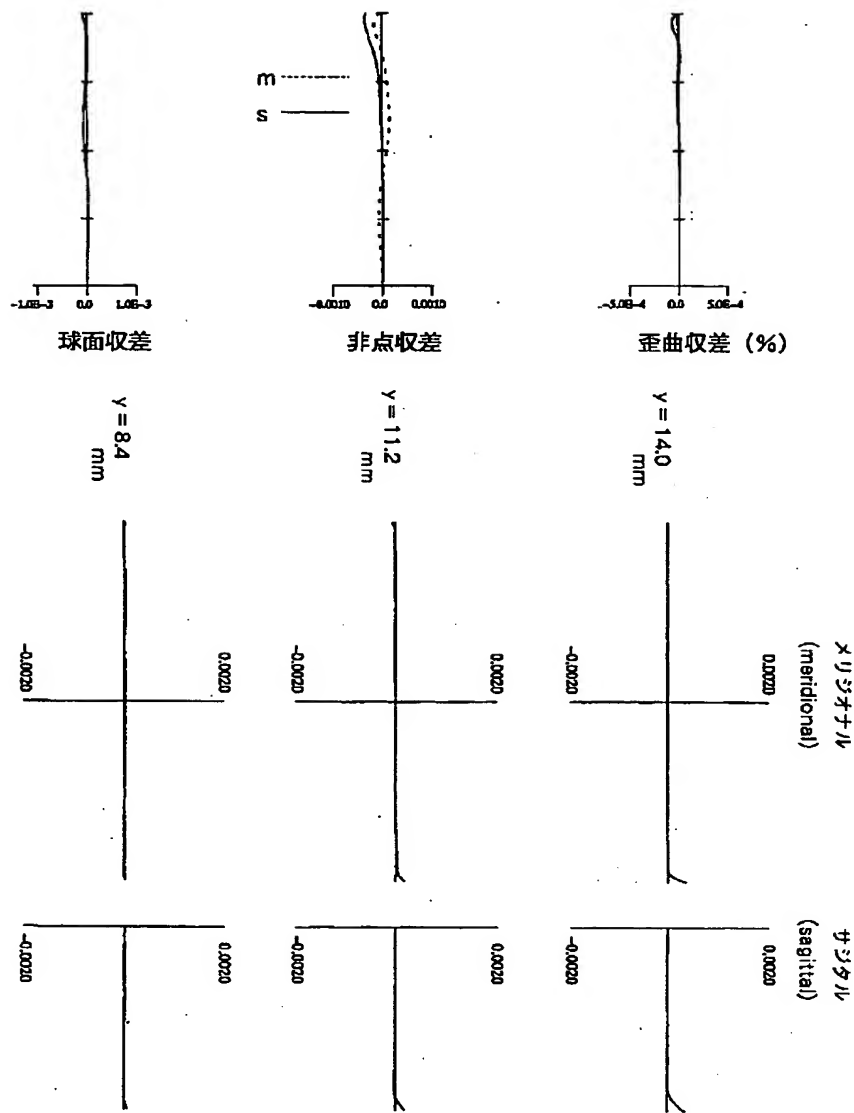
【図30】



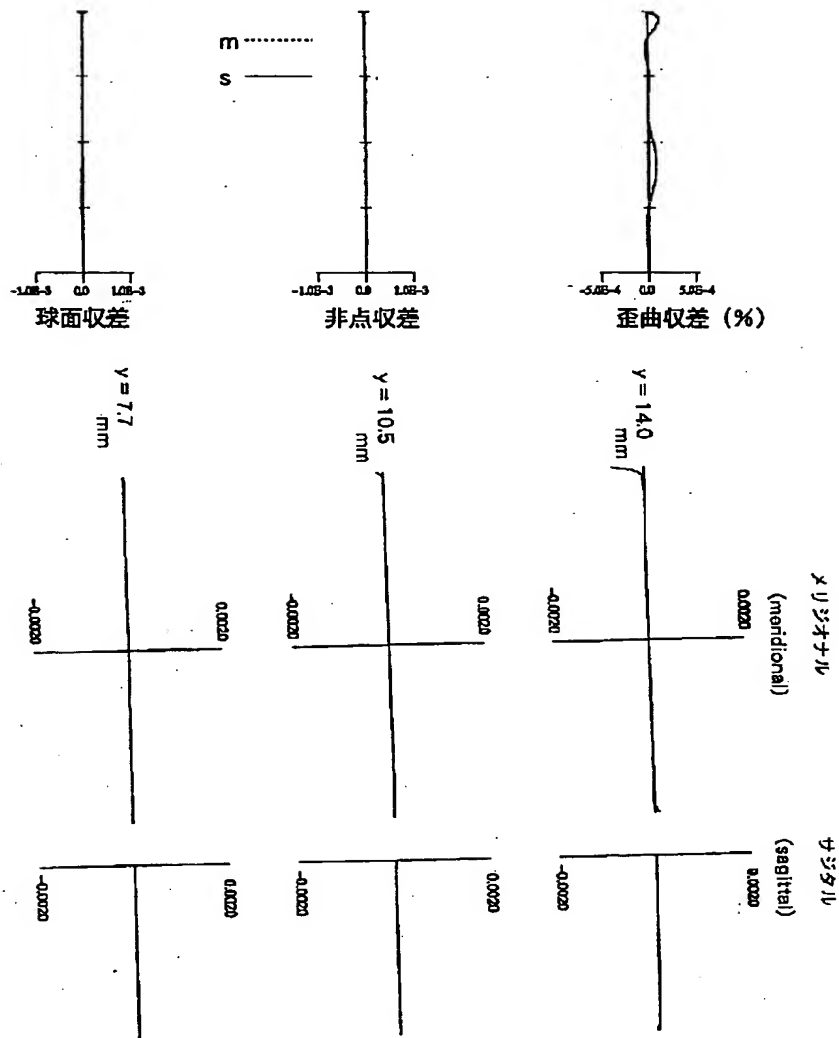
【図31】



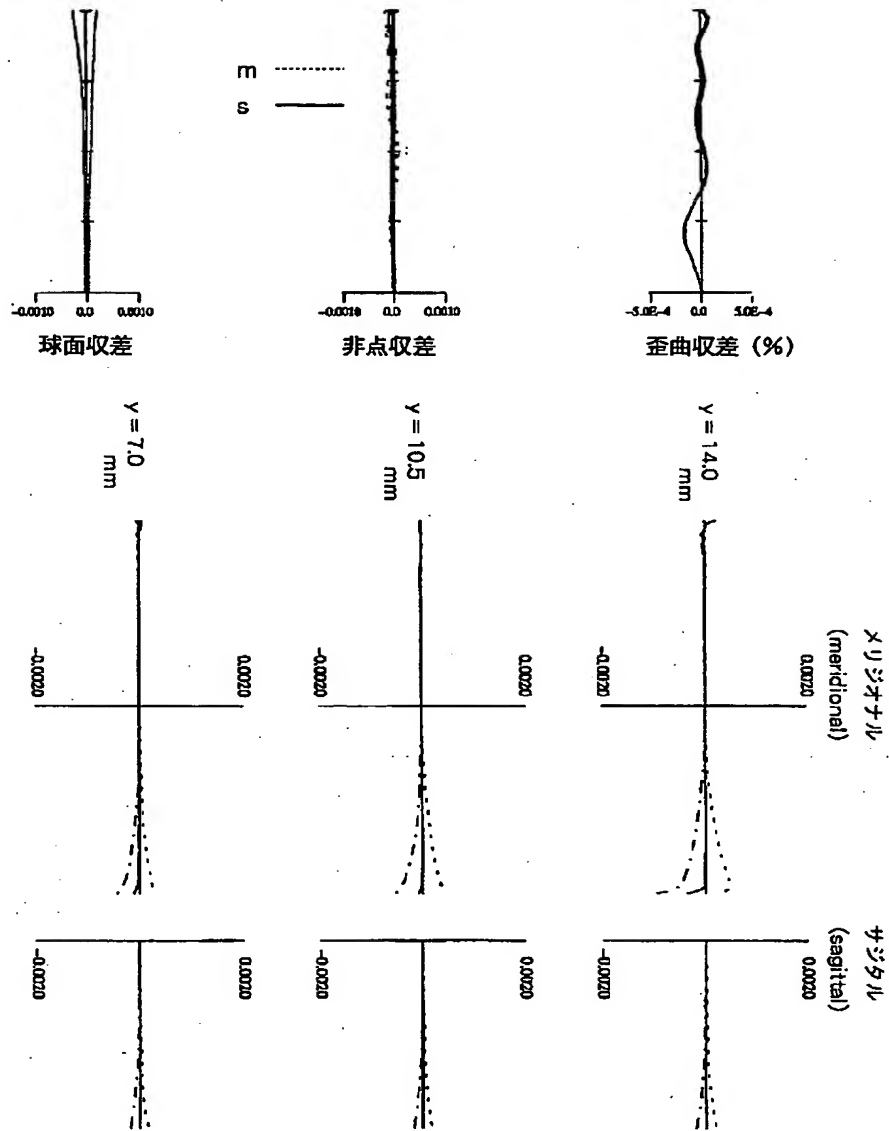
【図32】



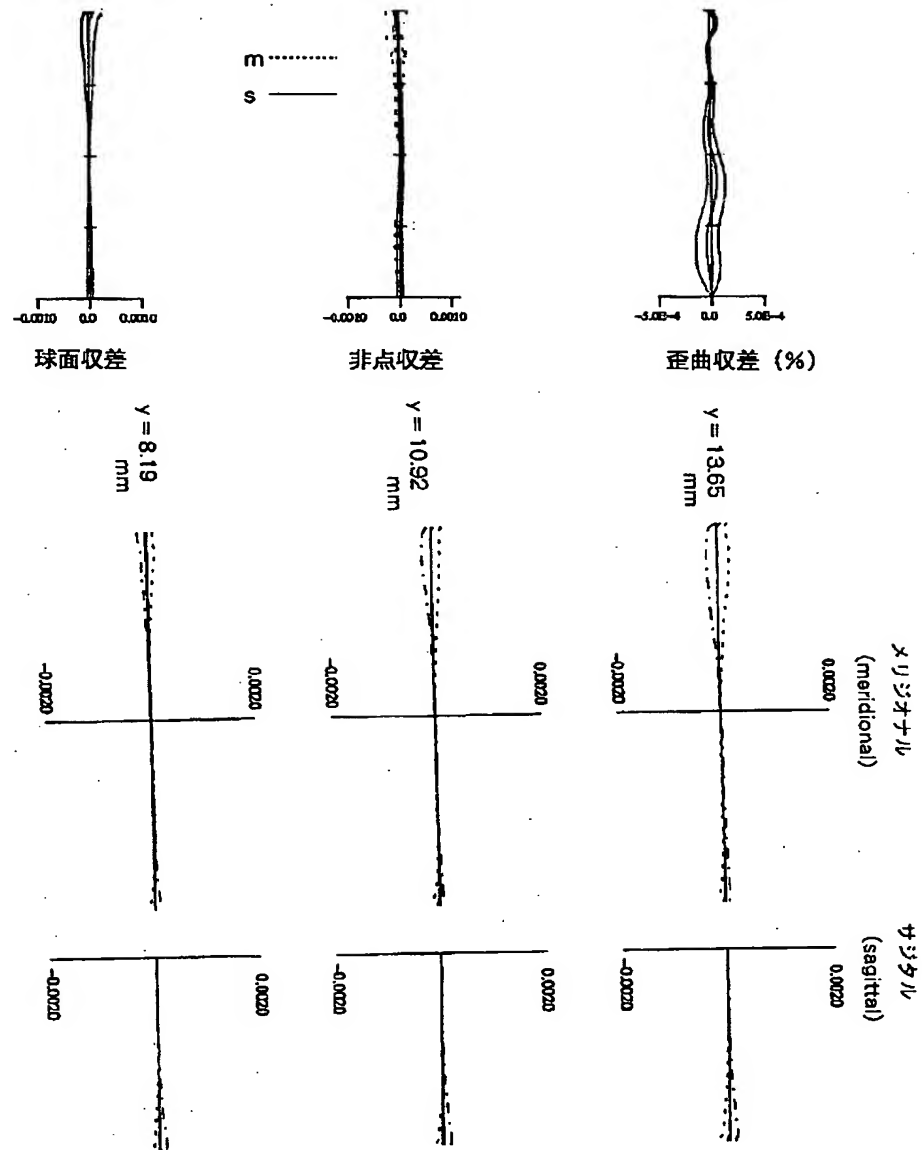
【図33】



【図34】

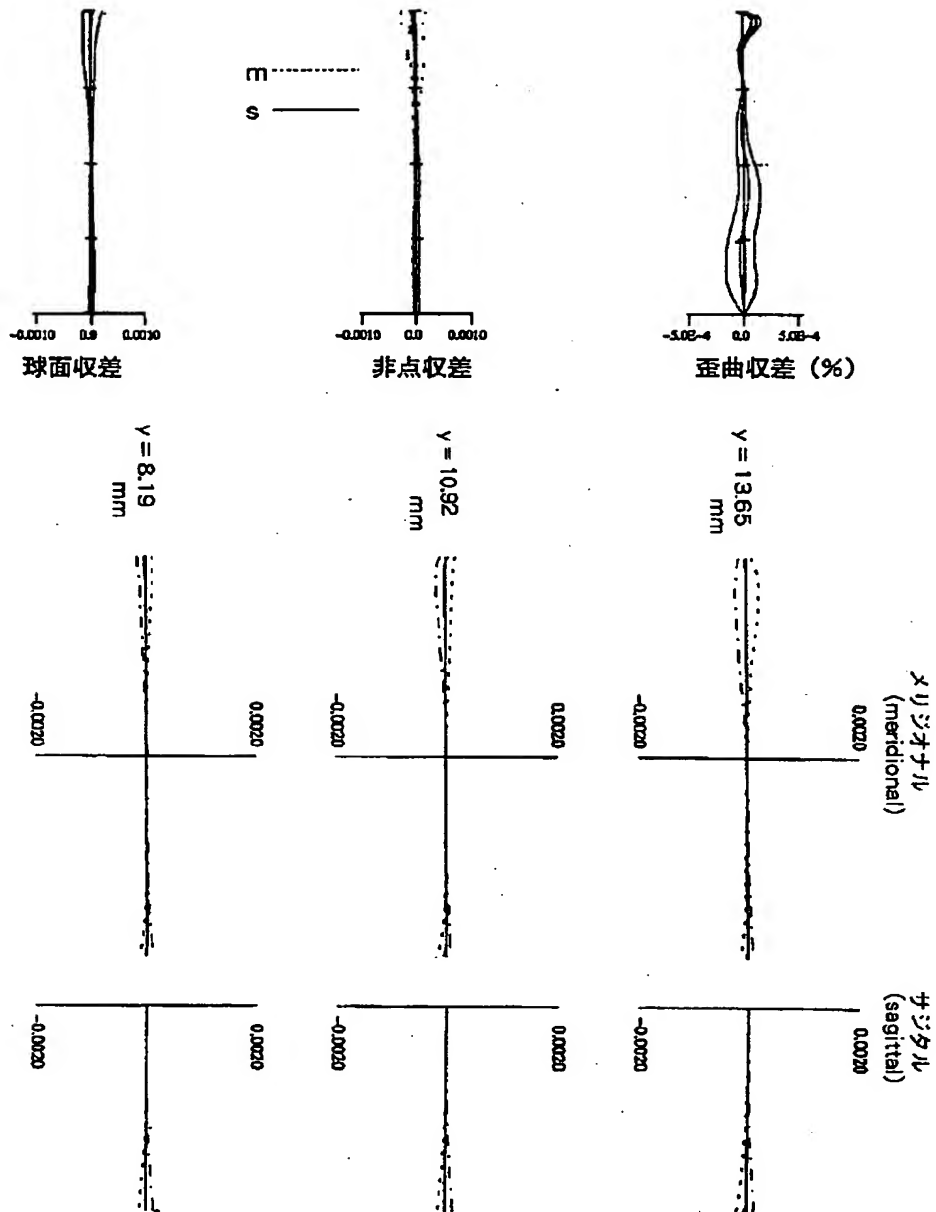


【図35】

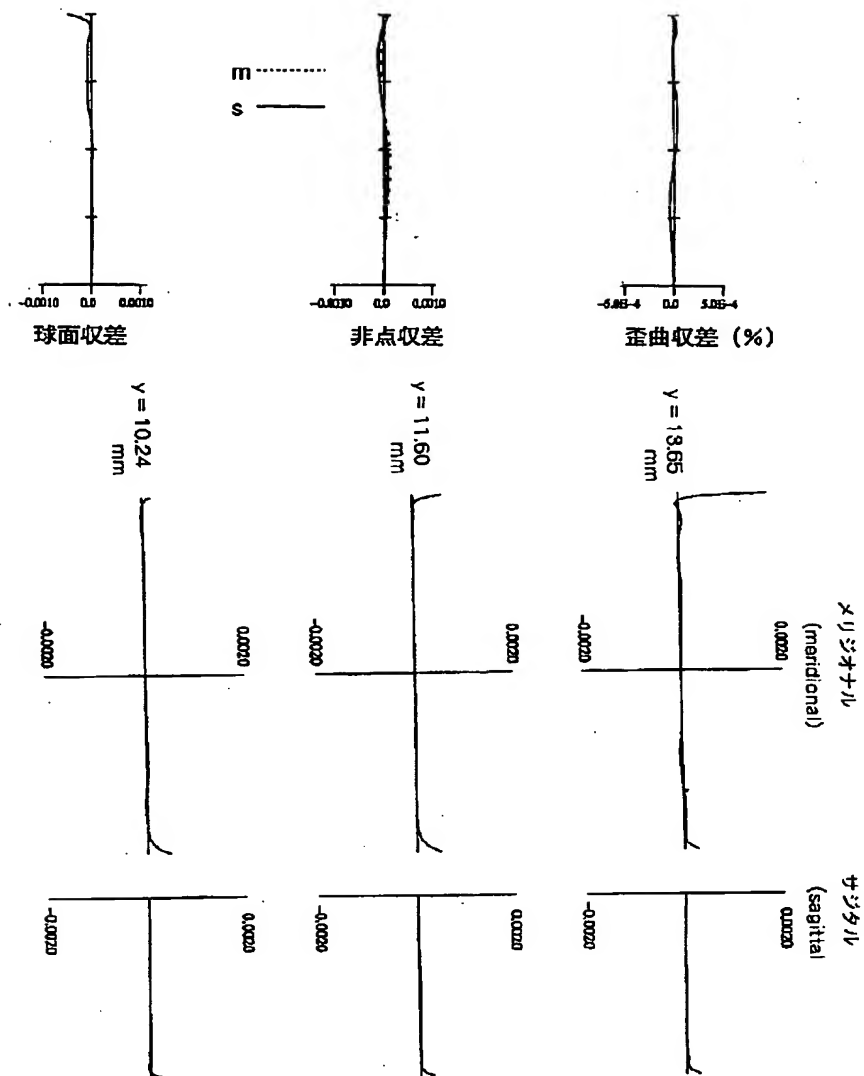




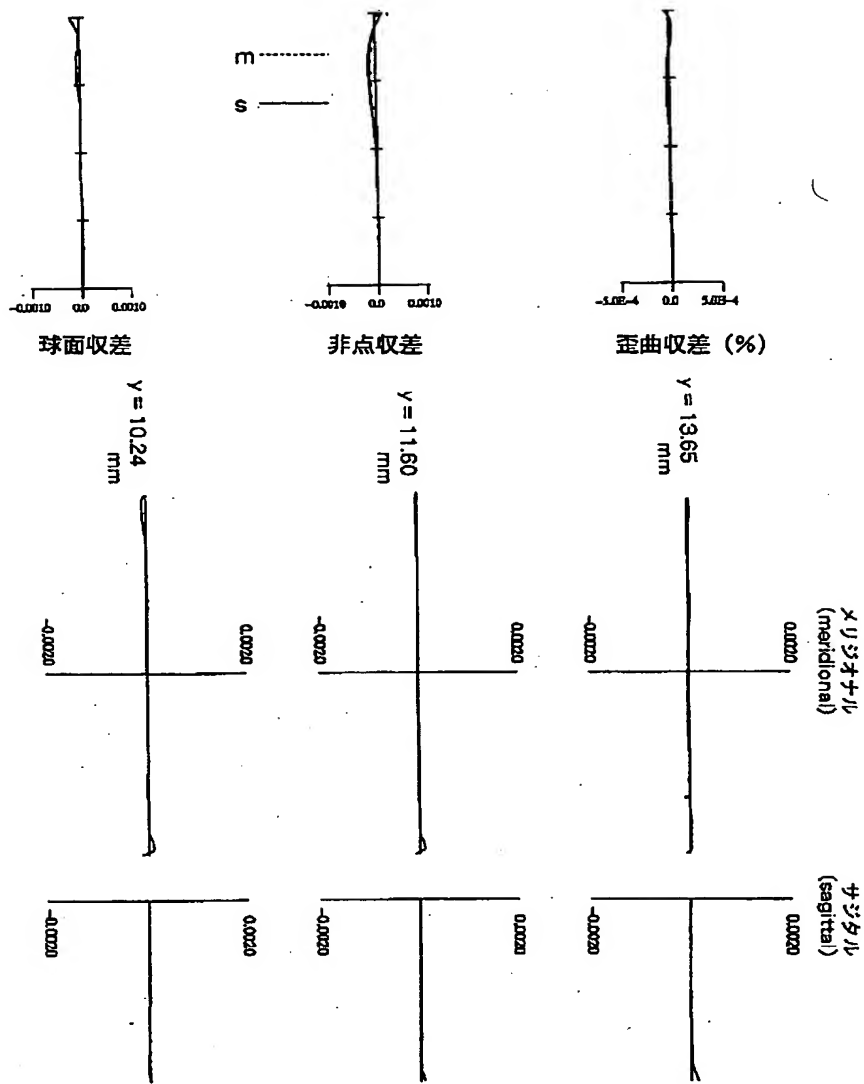
【図36】



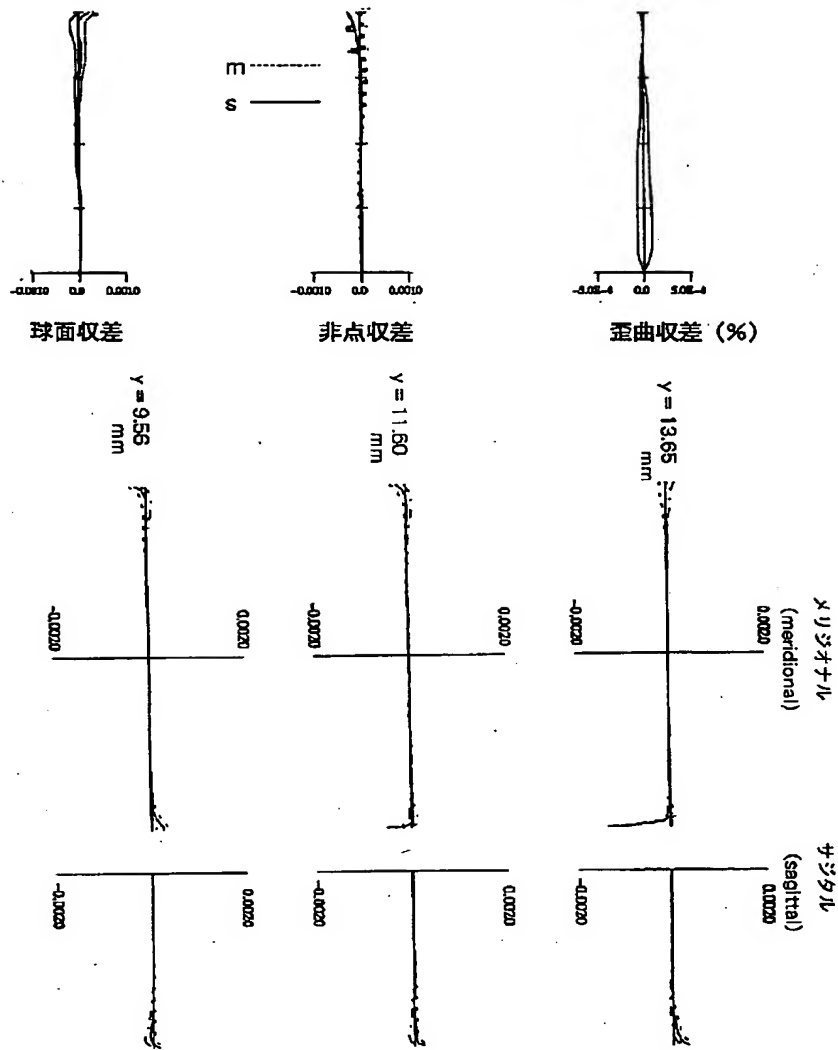
【図37】



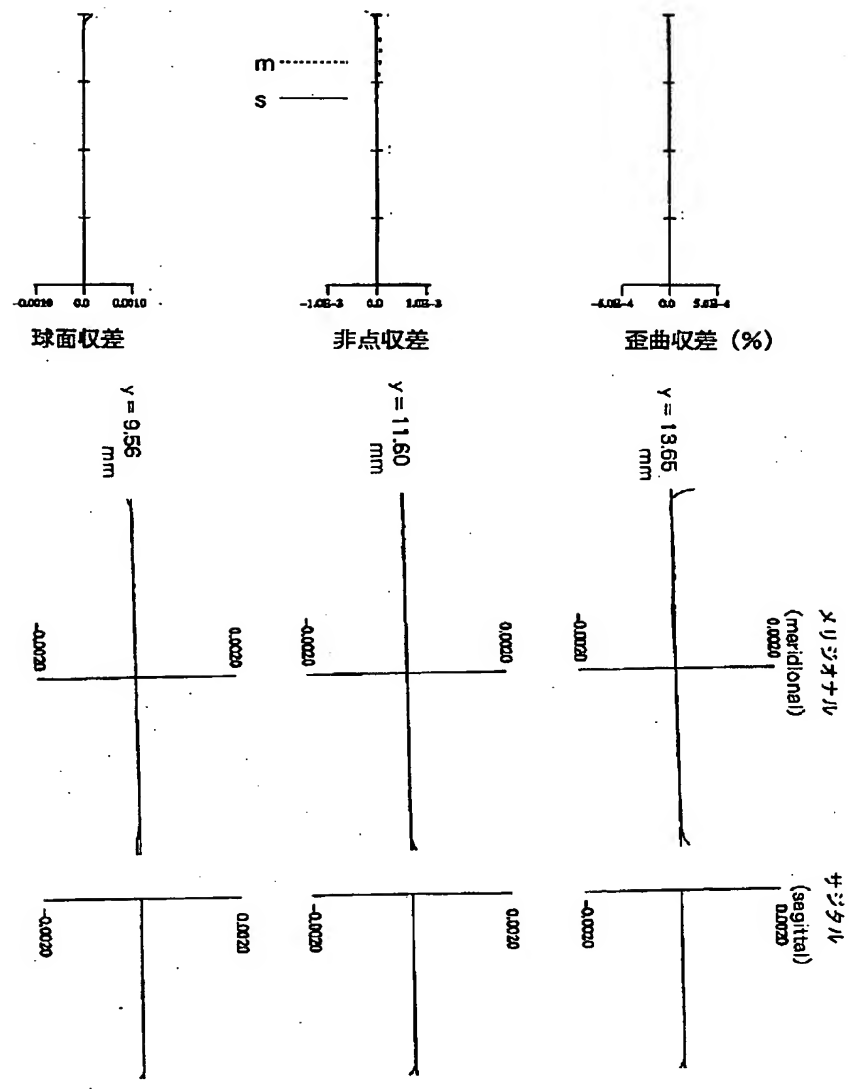
【図38】



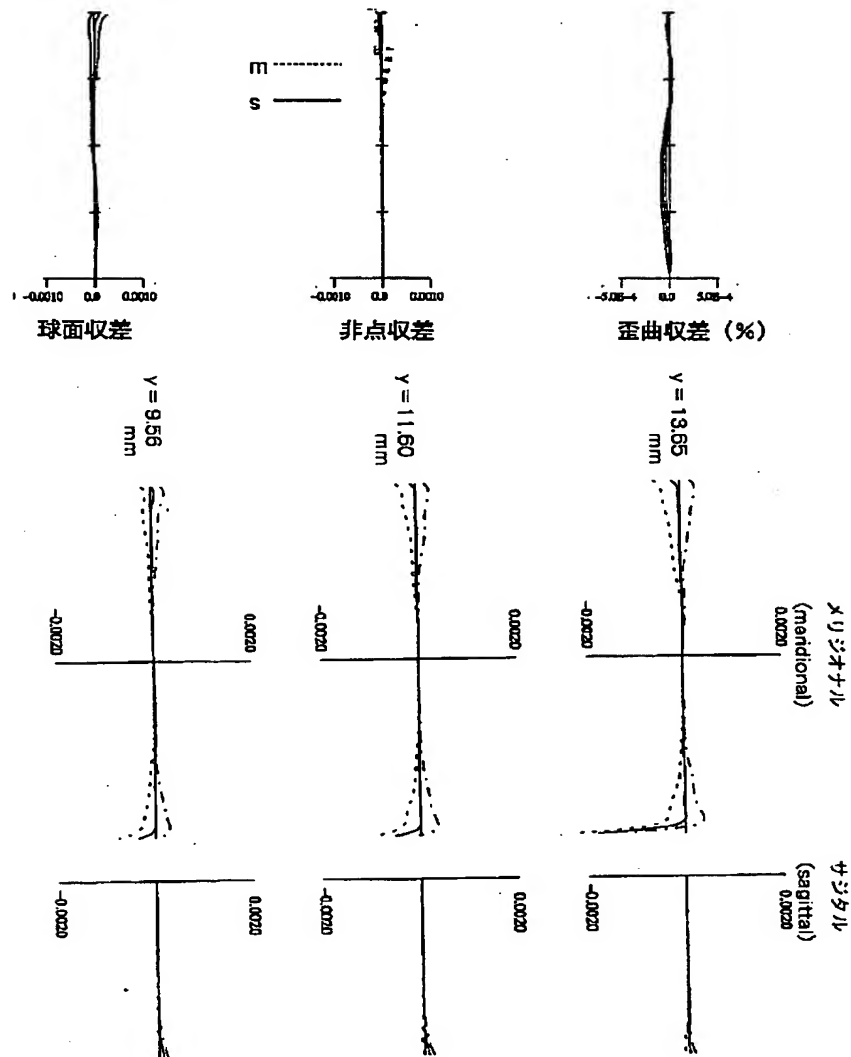
【図39】



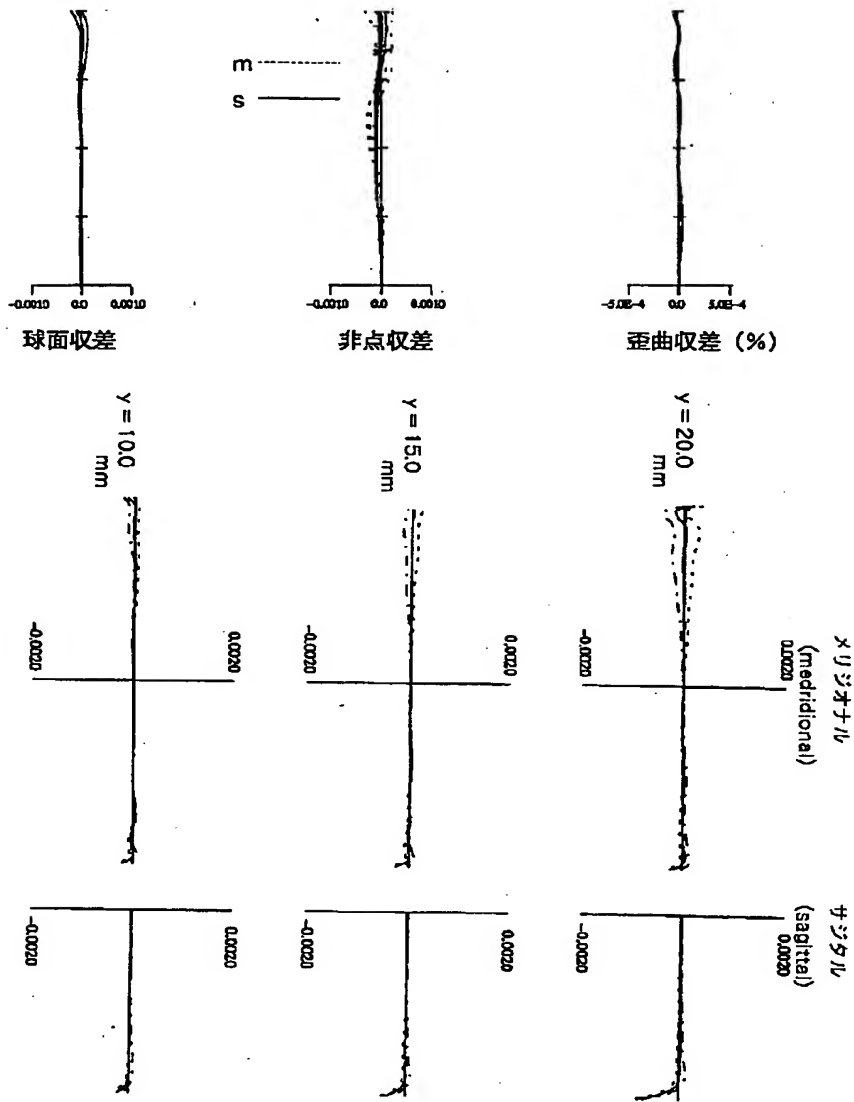
【図40】



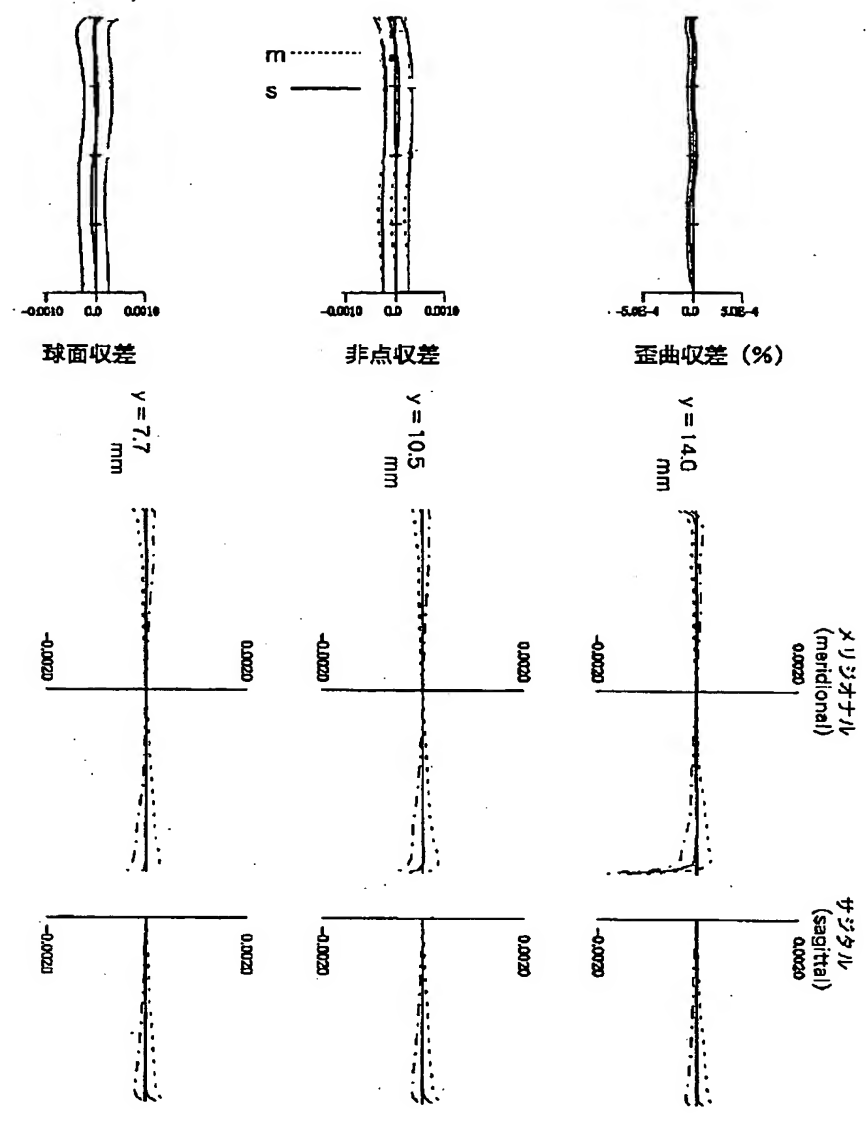
【図41】



【図42】

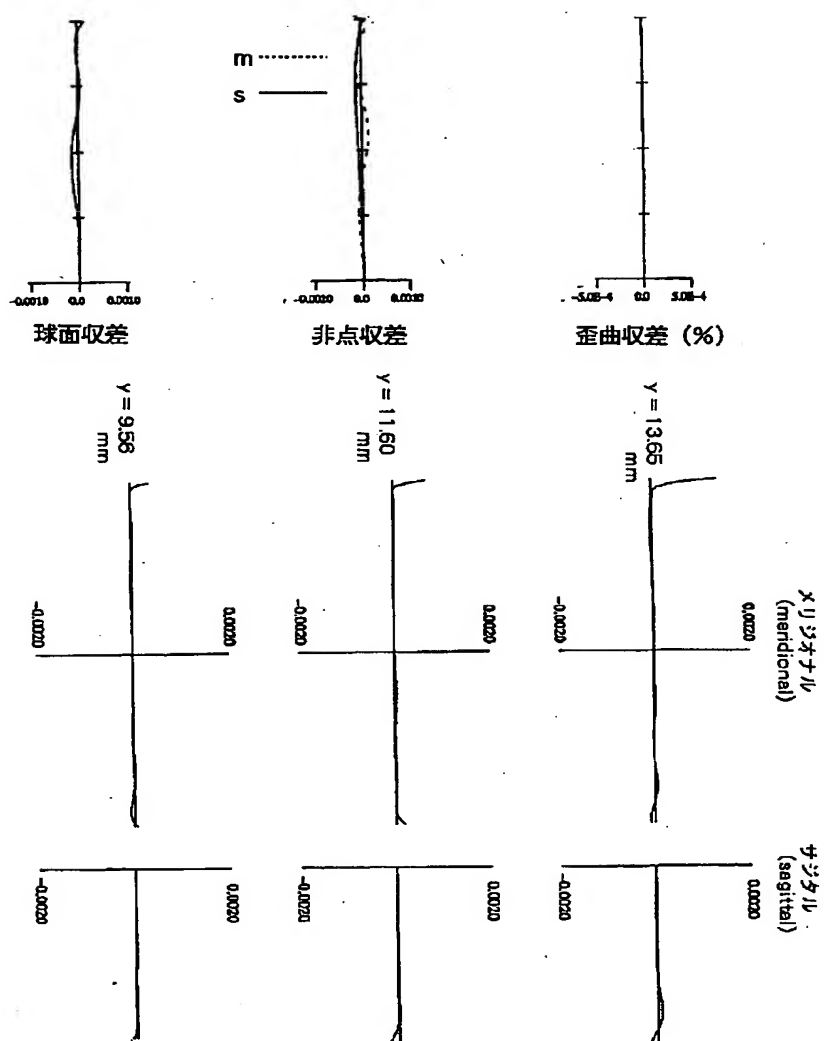


【図43】

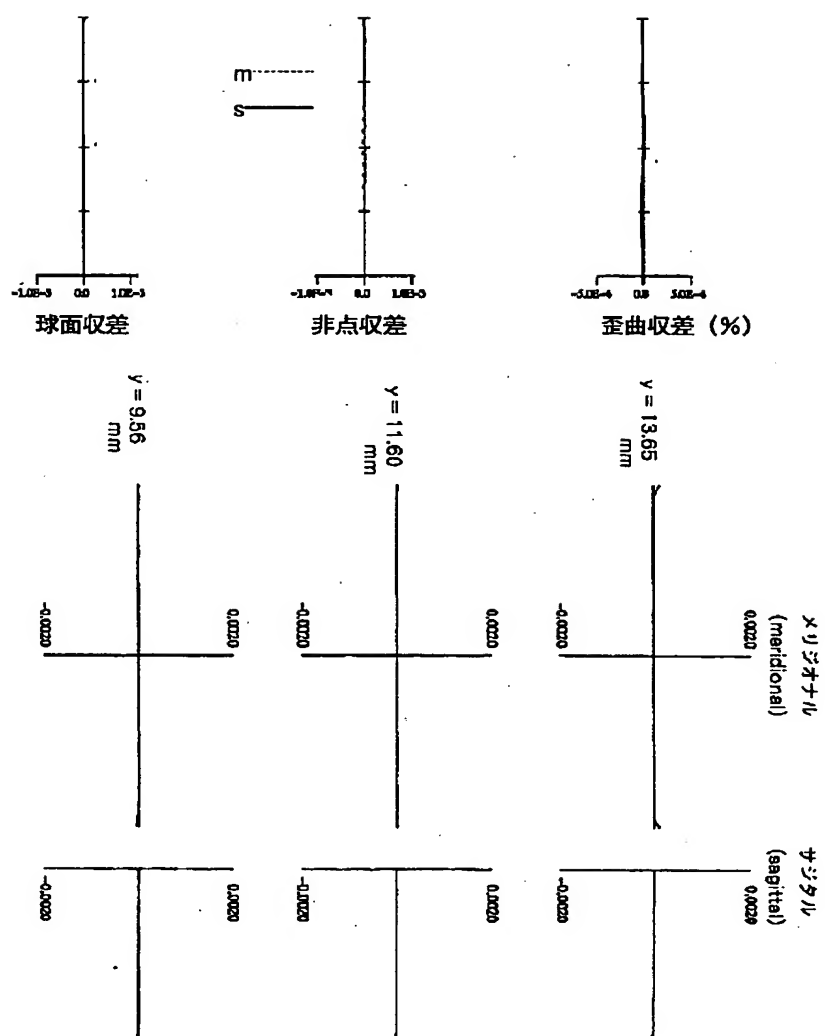




【図44】



【図45】



【図46】

数値実施例番号	1	2	3	4
BG2	-0.147	-0.127	-0.144	-0.234
BG1	-1.852	-1.443	-1.458	-0.857
P1	-0.015840	-0.013120	-0.016400	-0.005480
P1+P2	0.015840	0.013120	0.016400	0.005480
G/LM1	0.977	1.113	0.976	0.930
01L/(LM1+2+LM2)	0.963	0.872	0.981	0.971
LM2/LM1	0.688	0.781	0.673	0.448
LM1/L	0.388	0.385	0.368	0.223
1/BG1	-0.529	-0.651	-0.644	-0.480

数値実施例番号	5	6	7	8	9	10	11	12
BG2	-0.268	-0.204	-0.184	-0.192	-0.227	-0.121	-0.196	-0.199
BG1	-0.773	-0.779	-0.820	-0.944	-1.585	-1.358	-2.190	-2.318
P1	-0.010084	-0.009884	-0.008851	-0.009428	-0.009000	-0.013156	-0.008163	-0.008042
P1+P2	0.010074	0.009881	0.008860	0.009393	0.008996	0.013159	0.008156	0.008036
G/LM1	1.100	1.038	2.414	1.771	0.509	0.943	0.803	0.797
01L/(LM1+2+LM2)	0.823	0.681	0.784	0.828	1.021	0.861	0.910	0.889
LM2/LM1	0.657	0.652	0.684	0.688	0.771	0.790	0.810	0.846
LM1/L	0.280	0.302	0.260	0.268	0.352	0.410	0.356	0.368
1/BG1	-1.036	-1.792	-1.121	-0.972	-0.390	-0.809	-0.883	-0.875

## 【手続補正書】

【提出日】平成13年2月5日(2001. 2. 5)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】物体の像を像面へ投影する投影光学系において、前記物体側から順に、前記物体の像を形成するための第1結像光学系と、該像を前記像面へ再結像するための第2結像光学系とを有し、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系とは共通の一直線の光軸に沿って配置しており、前記第1結像光学系が前記物体からの軸外光を反射し且つ集光する第1のミラーを有し、前記第1結像光学系が前記第1のミラーからの光を反射して前記第2結像光学系に入射させる第2のミラーを有するか、或は前記第2結像光学系が前記第1のミラーからの光を前記像面側へ反射する第2のミラーを有し、該第2のミラーにより前記軸外光を前記第1のミラーの有効径外を通過させることを特徴とする投影光学系。

【請求項2】前記第1結像光学系の倍率 $\beta$ は、 $|\beta| \geq 1$ であることを特徴とする請求項1に記載の投影光学系。

【請求項3】前記第1結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の投影光学系。

【請求項4】前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする請求項3に記載の投影光学系。

【請求項5】前記第2結像光学系が、少なくとも1枚の

レンズを有することを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項6】前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする請求項5に記載の投影光学系。

【請求項7】前記第1のミラーと第2のミラーの間に、レンズ群を有することを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項8】前記レンズ群が、負の屈折力を有し、前記第1結像光学系における正の屈折力を有する屈折レンズと、前記第1のミラーとの間に配置されていることを特徴とする請求項7に記載の投影光学系。

【請求項9】前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に、前記第1結像光学系の瞳を前記第2結像光学系の瞳上へ投影するフィールド光学系を有し、前記第1結像光学系が少なくとも前記第1のミラーを含む正屈折力の第1ミラー群と前記第2のミラーを含む第2ミラー群の2つのミラー群を備え、前記第2ミラー群により反射された前記第1ミラー群からの光束を、前記第1ミラー群の有効径外を通過させるように構成したことを特徴とする請求項1に記載の投影光学系。

【請求項10】前記第2結像光学系は、レンズのみで構成され、正の屈折力を有することを特徴とする請求項9に記載の投影光学系。

【請求項11】前記第2結像光学系は、その倍率をBG2としたとき、

$$-0.5 < BG2 < -0.05$$

を満足することを特徴とする請求項9または請求項10に記載の投影光学系。

【請求項12】前記第1結像光学系は、その倍率をBG

1としたとき、

$$-40.0 < BG1 < -0.5$$

を満足することを特徴とする請求項9～11のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項13】前記フィールド光学系は、全てレンズで構成したことを特徴とする請求項9～12のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項14】前記フィールド光学系は、第1フィールドミラーと、第2フィールドミラーを含む第2フィールドミラー群を有し、前記第1ミラー群の有効径外を通過した軸外光を前記第1フィールドミラー、前記第2フィールドミラーの順に反射させた後に、前記第1フィールドミラーの光軸中心近傍を通過して前記第2結像光学系に入射するように構成されていることを特徴とする請求項9～12のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項15】前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凸面鏡としたことを特徴とする請求項14に記載の投影光学系。

【請求項16】前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凹面鏡としたことを特徴とする請求項14に記載の投影光学系。

【請求項17】前記第1結像光学系のベッツパール和をP1、前記フィールド光学系のベッツパール和をPf、前記第2結像光学系のベッツパール和をP2としたとき、

$$P1 < 0$$

$$Pf + P2 > 0$$

を満足することを特徴とする請求項9～16のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項18】前記物体と前記第1ミラーの近軸距離をLM1、前記物体から前記第1ミラーより前記物体側にある光学素子により形成する瞳共役点までの距離をeとしたとき、これらの関係が、

$$0.6 < e/LM1 < 2.5$$

を満足することを特徴とする請求項9～17のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項19】前記第1ミラーと前記第2ミラーの近軸距離をLM2、前記物体面から前記第1結像光学系が形成した前記像までの光路に沿った近軸距離をOILとしたとき、前記距離LM1との関係が、

$$0.5 < OIL / (LM1 + 2 \times LM2) < 2.0$$

を満足することを特徴とする請求項9～18のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項20】前記距離LM1と前記距離LM2との関係が、

$$0.2 < LM2/LM1 < 0.95$$

を満足することを特徴とする請求項9～19のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項21】前記投影光学系に関する物体面から像面までの距離をLとしたとき、前記距離LM1との関係

が、

$$0.15 < LM1/L < 0.55$$

を満足することを特徴とする請求項9～20のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項22】前記第1ミラー群の倍率をBGM1としたとき、

$$-2.0 < 1/BGM1 < 0.4$$

を満足することを特徴とする請求項9～21のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項23】前記第1結像光学系は最も前記物体側に正屈折力のレンズ群を配置したことを特徴とする請求項9～22のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項24】前記第1ミラー群は、負屈折力のレンズと前記第1ミラーを有することを特徴とする請求項9～23のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項25】第2ミラー群は、前記第2ミラーとレンズを有することを特徴とする請求項9～24のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項26】前記物体からの軸外光束が、前記第1ミラー群に入射する前に前記第2ミラー群のレンズを通過することを特徴とする請求項9～25のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項27】前記第1結像光学系の前記第1ミラー群の像面側直後に、前記フィールド光学系に属する正レンズを配置したことを特徴とする請求項9～26のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項28】前記第2フィールドミラーと前記第1フィールドミラーの距離をLFM1、第2フィールドミラーと像面の距離をLFM2としたとき、

$$0.45 < LFM1/LFM2 < 0.8$$

を満足することを特徴とする請求項14～16のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項29】前記第2フィールドミラー群は、前記第2フィールドミラーとレンズを有することを特徴とする請求項14～16、請求項28のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項30】前記第1結像光学系の第1ミラーと前記フィールド光学系の第2フィールドミラーの間に前記フィールド光学系に属する正レンズを配置し、前記第1結像光学系の第2ミラーで反射した光束が前記正レンズを通過して前記第1フィールドミラーで反射するように構成されていることを特徴とする請求項14～16、請求項28、請求項29のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項31】前記物体側と前記像面側の双方がテレセントリックであることを特徴とする請求項1～30のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項32】前記投影光学系の倍率は、縮小倍率であることを特徴とする請求項1～31のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項33】前記第1結像光学系が形成した前記像の

位置に、前記像面での結像領域の大きさ及び／又は形状を可変とする視野絞りを配置したことを特徴とする請求項1～32のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項34】前記第2結像光学系中に絞りを有することを特徴とする請求項1～33のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項35】請求項1～34のいずれか1項に記載の投影光学系によってマスクのパターンを基板上に投影する投影露光装置。

【請求項36】前記投影にArFエキシマレーザ又はF2レーザからのレーザ光を用いることを特徴とする請求項35に記載の投影露光装置。

【請求項37】請求項35又は36に記載の投影露光装置を用いてデバイスパターンをウェハに露光する段階と、該露光したウェハを現像する段階とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正内容】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投影光学系、投影露光装置およびデバイス製造方法に関し、特にレチクルパターンを半導体ウェハに投影露光する投影光学系に、反射ミラーを用いた反射屈折投影光学系に関するものである。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正内容】

【0002】

【従来の技術】近年、集積回路の高集積化が進むに従い、露光用の投影光学系に対する要求仕様、要求性能もますます厳しいものになってきている。一般に高い解像力を得るためには露光波長の短波長化、NAの高NA化が行われている。しかしながら露光波長の短波長化が193nm（ArFエキシマレーザ光）や157nm（F2エキシマレーザ光）といった領域に達すると使用可能なレンズ材料が石英と蛍石に限られてくる。これは主に透過率の低下に起因するものである。従来、例えば特開昭10-79345号公報等に開示されているような全屈折レンズで構成され、レンズ構成枚数が多く全硝材厚が大きい光学系では、ウェハ上での露光量が低下するためスループットが低下することとなり、またレンズの熱吸収による焦点位置の変動、収差変動などの問題（熱収差）が生じてくる。露光波長が193nmでは石英と蛍石が使用されるが、それらの分散の差が大きいため色収差の補正が難しく、完璧に補正しようとする

と色消し面の曲率半径が小さい色消しレンズが数個必要になるため、光学系の全硝材厚の増大を招き、前述の透過率、熱収差の問題が起こってくる。また現状、蛍石に関しては、投影光学系の設計性能を保証するに耐えうる特性を有するものを製造するのが難しく、さらに大口径のものを製造するのが困難な状況である。このことは色補正をさらに難しくし、コストアップの要因となっている。さらに露光波長が157nmとなると使用可能なレンズ材料は蛍石のみとなり単一材料だけでは色収差を補正することはできない。いずれにしても屈折系だけで投影光学系を構成することが困難になってくる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0003

【補正方法】変更

【補正内容】

【0003】そのため、光学系中にミラーを使用した反射系を導入することにより、前述の透過率、色補正といった課題を回避しようとする提案が種々なされている。例えば、反射系だけで構成されている反射投影光学系が特開平9-211332号公報、特開平10-90602号公報等で開示されている。また、反射系と屈折系を組み合わせた反射屈折投影光学系が、米国特許第5,650,877号明細書、特開昭62-210415号公報、特開昭62-258414号公報、特開昭63-163319号公報、特開平2-66510号公報、特開平3-282527号公報、特開平4-234722号公報、特開平5-188298号公報、特開平6-230287号公報、特開平8-304705号公報等で開示されている。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正内容】

【0005】さて、特開平4-234722号公報、特開平8-304705号公報は、以上説明した従来例の問題点をかなり解決できているが、光路を折り曲げることにより凹面鏡からの光路を分割して、偏心光学的な取扱いが必要となるため、構造が複雑で組み立て調整等も難しい。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正内容】

【0006】そこで、本発明は、上記特開平4-234722号公報、特開平8-304705号公報における光学系を改善し、メカ構造が簡単で組み立て調整が容易な投影光学系、投影露光装置およびデバイス製造方法を

提供することを目的とするものである。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正内容】

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を達成するため、つぎの(1)～(37)のように構成した投影光学系、投影露光装置およびデバイス製造方法を提供する。

(1) 物体の像を像面へ投影する投影光学系において、前記物体側から順に、前記物体の像を形成するための第1結像光学系と、該像を前記像面へ再結像するための第2結像光学系とを有し、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系とは共通の一直線の光軸に沿って配置しており、前記第1結像光学系が前記物体からの軸外光を反射し且つ集光する第1のミラーを有し、前記第1結像光学系が前記第1のミラーからの光を反射して前記第2結像光学系に入射させる第2のミラーを有するか、或は前記第2結像光学系が前記第1のミラーからの光を前記像面側へ反射する第2のミラーを有し、該第2のミラーにより前記軸外光を前記第1のミラーの有効径外を通過させることを特徴とする投影光学系。

(2) 前記第1結像光学系の倍率 $\beta$ は、 $|\beta| \geq 1$ であることを特徴とする上記(1)に記載の投影光学系。

(3) 前記第1結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする上記(1)または上記(2)に記載の投影光学系。

(4) 前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする上記(3)に記載の投影光学系。

(5) 前記第2結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする上記(1)～(4)のいずれかに記載の投影光学系。

(6) 前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする上記(5)に記載の投影光学系。

(7) 前記第1のミラーと第2のミラーの間に、レンズ群を有することを特徴とする上記(1)～(6)のいずれかに記載の投影光学系。

(8) 前記レンズ群が、負の屈折力を有し、前記第1結像光学系における正の屈折力を有する屈折レンズと、前記第1のミラーとの間に配置されていることを特徴とする上記(7)に記載の投影光学系。

(9) 前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に、前記第1結像光学系の瞳を前記第2結像光学系の瞳上へ投影するフィールド光学系を有し、前記第1結像光学系が少なくとも前記第1のミラーを含む正屈折力の第1ミラー群と前記第2のミラーを含む第2ミラー群の2つのミラー群を備え、前記第2ミラー群により反射された前記第1ミラー群からの光束を、前記第1ミラー群の

有効径外を通過させるように構成したことを特徴とする上記(1)に記載の投影光学系。

(10) 前記第2結像光学系は、レンズのみで構成され、正の屈折力を有することを特徴とする上記(9)に記載の投影光学系。

(11) 前記第2結像光学系は、その倍率をBG2としたとき、

$$-0.5 < BG2 < -0.05$$

を満足することを特徴とする上記(9)または上記(10)に記載の投影光学系。

(12) 前記第1結像光学系は、その倍率をBG1としたとき、

$$-40.0 < BG1 < -0.5$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(11)のいずれかに記載の投影光学系。

(13) 前記フィールド光学系は、全てレンズで構成したことを特徴とする上記(9)～(12)のいずれかに記載の投影光学系。

(14) 前記フィールド光学系は、第1フィールドミラーと、第2フィールドミラーを含む第2フィールドミラー群を有し、前記第1ミラー群の有効径外を通過した軸外光を前記第1フィールドミラー、前記第2フィールドミラーの順に反射させた後に、前記第1フィールドミラーの光軸中心近傍を通過して前記第2結像光学系に入射するように構成されていることを特徴とする上記(9)～(12)のいずれかに記載の投影光学系。

(15) 前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凸面鏡としたことを特徴とする上記(14)に記載の投影光学系。

(16) 前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凹面鏡としたことを特徴とする上記(14)に記載の投影光学系。

(17) 前記第1結像光学系のベッツパール和をP1、前記フィールド光学系のベッツパール和をPf、前記第2結像光学系のベッツパール和をP2としたとき、

$$P1 < 0$$

$$Pf + P2 > 0$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(16)のいずれかに記載の投影光学系。

(18) 前記物体と前記第1ミラーの近軸距離をLM1、前記物体から前記第1ミラーより前記物体側にある光学素子により形成する瞳共役点までの距離をeとしたとき、これらの関係が、

$$0.6 < e/LM1 < 2.5$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(17)のいずれかに記載の投影光学系。

(19) 前記第1ミラーと前記第2ミラーの近軸距離をLM2、前記物体面から前記第1結像光学系が形成した前記像までの光路に沿った近軸距離をOILとしたとき、前記距離LM1との関係が、

$0.5 < OIL / (LM1 + 2 \times LM2) < 2.0$

を満足することを特徴とする上記(9)～(18)のいずれかに記載の投影光学系。

(20) 前記距離LM1と前記距離LM2との関係が、 $0.2 < LM2 / LM1 < 0.95$

を満足することを特徴とする上記(9)～(19)のいずれかに記載の投影光学系。

(21) 前記投影光学系に関する物体面から像面までの距離をLとしたとき、前記距離LM1との関係が、

$0.15 < LM1 / L < 0.55$

を満足することを特徴とする上記(9)～(20)のいずれかに記載の投影光学系。

(22) 前記第1ミラー群の倍率をBGM1としたとき、

$-2.0 < 1 / BGM1 < 0.4$

を満足することを特徴とする上記(9)～(21)のいずれかに記載の投影光学系。

(23) 前記第1結像光学系は最も前記物体側に正屈折力のレンズ群を配置したことを特徴とする上記(9)～(22)のいずれかに記載の投影光学系。

(24) 前記第1ミラー群は、負屈折力のレンズと前記第1ミラーを有することを特徴とする上記(9)～(23)のいずれかに記載の投影光学系。

(25) 第2ミラー群は、前記第2ミラーとレンズを有することを特徴とする上記(9)～(24)のいずれかに記載の投影光学系。

(26) 前記物体からの軸外光束が、前記第1ミラー群に入射する前に前記第2ミラー群のレンズを通過することを特徴とする上記(9)～(25)のいずれかに記載の投影光学系。

(27) 前記第1結像光学系の前記第1ミラー群の像面側直後に、前記フィールド光学系に属する正レンズを配置したことを特徴とする上記(9)～(26)のいずれかに記載の投影光学系。

(28) 前記第2フィールドミラーと前記第1フィールドミラーの距離をLFM1、第2フィールドミラーと像面の距離をLFM2としたとき、

$0.45 < LFM1 / LFM2 < 0.8$

を満足することを特徴とする上記(14)～(16)のいずれかに記載の投影光学系。

(29) 前記第2フィールドミラー群は、前記第2フィールドミラーとレンズを有することを特徴とする上記(14)～(16)、上記(28)のいずれかに記載の投影光学系。

(30) 前記第1結像光学系の第1ミラーと前記フィールド光学系の第2フィールドミラーの間に前記フィールド光学系に属する正レンズを配置し、前記第1結像光学系の第2ミラーで反射した光束が前記正レンズを通り前記第1フィールドミラーで反射するように構成されていることを特徴とする上記(14)～(16)、上記(2

8)、上記(29)のいずれかに記載の投影光学系。

(31) 前記物体側と前記像面側の双方がテレセントリックであることを特徴とする上記(1)～(30)のいずれかに記載の投影光学系。

(32) 前記投影光学系の倍率は、縮小倍率であることを特徴とする上記(1)～(31)のいずれかに記載の投影光学系。

(33) 前記第1結像光学系が形成した前記像の位置に、前記像面での結像領域の大きさ及び／又は形状を可変とする視野絞りを配置したことを特徴とする上記

(1)～(32)のいずれかに記載の投影光学系。

(34) 前記第2結像光学系中に絞りを有することを特徴とする上記(1)～(33)のいずれかに記載の投影光学系。

(35) 上記(1)～(34)のいずれかに記載の投影光学系によってマスクのパターンを基板上に投影する投影露光装置。

(36) 前記投影にArFエキシマレーザ又はF2レーザからのレーザ光を用いることを特徴とする上記(35)に記載の投影露光装置。

(37) 上記(35)または(36)に記載の投影露光装置を用いてデバイスパターンを前ウエハに露光する段階と、該露光したウエハを現像する段階とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正内容】

【0018】第2結像系Gr2はすべて屈折レンズ系で構成し正屈折力を有することにより、高NA化に対応可能とし、さらに像側作動距離を確保しやすくしている。仮に第2結像系Gr2が凹面ミラーを有している場合は、従来例で説明をしたように高NA化、像側作動距離の確保が困難になってくる。フィールド光学系Grfは図3の(A)に示すように全て屈折レンズ系で構成することも可能であるし、図3の(B)に示すように2枚のミラーを有する構成も可能である。後に実施例で示すように正レンズFL1は、パワー配置によっては不要とすることも可能である。また図3の(B)の場合、第1フィールドミラーFM1は凹面鏡であり、第2フィールドミラーFM2は凸面鏡という構成となっているが、第2フィールドミラーFM2は凹面鏡で構成することも可能である。色補正に関しては第1結像系Gr1の色消し状況を、第1ミラー群GM1を負屈折力のレンズLN1と凹面の第1ミラーM1で構成することにより、上記a.の作用を利用して色消し過剰とすることができるので、レンズ使用確種が1種類であっても色収差補正が可能となっている。これは特にArFエキシマレーザやF2エキシマレーザが光源の場合には、大きなメリットであ

る。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正内容】

【0020】また、第1結像系Gr1の第1ミラー群GM1にて上記b.の作用により、第1結像系Gr1では大きな負のベッツパール和となるので、従来の屈折レンズ系のようにベッツパール和補正用の負屈折力レンズを多用することなしに、フィールド光学系Grf、第2結像系Gr2を構成することができ、レンズの枚数を少なくすることができる。さらに、第1結像系Gr1の第2ミラー群GM2をレンズLP1とミラーM2で構成すれば、第2ミラー群GM2のトータルのパワーは不変でありながら、レンズLP1と第2ミラーM2のパワー分担を変化させることにより、いかようにもベッツパール和を制御可能となるので、収差補正の自由度が増加し光学素子枚数の削減に貢献する。これは図3のBに示す第2フィールドミラーFM2においても同様に、第2フィールドミラーFM2とレンズLFを組み合わせ第2フィールドミラー群とすることによりベッツパール和補正の自由度が増加し光学素子枚数の削減に貢献する。そして、第1結像系Gr1の大きな負のベッツパール和を打ち消すべく第2結像系Gr2の正の屈折力も大きくなる必然性が生じ、かつ、第1結像系Gr1から射出する主光線高が第1ミラー群GM1の外側を通るため高い位置でフィールド光学系Grfに入射し、フィールド光学系Grfから第2結像系Gr2に入射する主光線の角度が大きくなり、これにより像側テレセントリックを保つためには、第2結像系Gr2の正の屈折力が大きくなる必然性が生じ、この2つの必然性から矛盾することなく第2結像系Gr2の正の屈折力を大きくすることができるので第2結像系Gr2の有効径は小さくなり、小型軽量化がなされる。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正内容】

【0021】ミラーへの入反射角に関して、本実施の形態ではリングフィールド系であるので、瞳の中抜けを生じるカセグレン型やシュワルツシルト型を応用した光学系よりもミラーへの入反射角を小さくすることができ、また第1結像系Gr1では第1ミラーM1を瞳共役点近傍に配置し、第2ミラーM2で反射した光束が第1ミラー群GM1の有効径外の即近傍を通過するようにしており、ミラー上の光軸から離れた高い位置で反射させることがないので、第1ミラーM1、第2ミラーM2とも入

反射角が極端に大きくなることはない。また、フィールド光学系Grfの構成が図3の(B)の場合では、第1フィールドミラーFM1と第2フィールドミラーFM2の間隔をできる限り確保しており光束幅も狭いので、これも入反射角が極端に大きくなることはない。像面上での結像領域幅に関しては、有効光束をできるだけ確保するようにミラーを配置する必要があるが、フィールド光学系Grfが屈折レンズ系のみの場合でもミラーを含むBの場合でも第1結像系Gr1においては収差補正の許容範囲で物高を高くすればよいので、障害にはならない。また、フィールドミラーを有するBのフィールド光学系Grfでは、光束幅が狭いので有効光束が欠られないようにすることは容易であり、これも障害にならない。したがって十分に結像領域幅を確保することは可能である。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】また、第1結像系Gr1において物体面の直後に正レンズ群G1を配置することにより、歪曲収差等の補正に効果を発揮し、かつ物体側テレセントリック性を良好に保つことが可能となる。したがって物体面（レチクル）や像面（ウェハ）の反り、デフォーカスによる倍率変化を小さくするには正レンズ群G1と第2結像系Gr2とによって、物像界で両側テレセントリックな光学系とするのが良い。なお、本発明では、図3に示すように第2ミラーM2は光束分離のためには半円盤状とする必要があり、正レンズ群G1は半円盤状でも、レンズ製造、レンズ保持の容易さから円盤状でも良く、さらに光軸の下方表面部分に第2ミラーM2を形成する構成としても良い。同様の理由で、レンズLP1においても半円盤状としているが円盤状でも良く、このときは光束はレンズLP1を3度通過することになる。このとき同様にレンズLP1の下方表面部分に第2ミラーM2を形成する構成としても良い。同様に第1ミラーM1もレンズLN1の裏面鏡として構成しても良く、本発明で使用されるミラーは、どのミラーであっても収差補正の観点からも、裏面鏡であっても良い。また図3の

(A)、(B)に示すようにフィールド光学系は、第1結像系Gr1の第1ミラー群GM1の像面側背後に配置される正レンズFL1を有することで、径の増大化を抑制することができ、また正レンズFL1の第1面を2重曲率にする等不連続な形状にする必要が生じるが、第1ミラーM1を正レンズFL1の中心部分に形成しても良い。さらに、第1結像系の中間像の位置に像面上の結像領域が可変となる視野絞り配置することもできる。これにより、照明系（不図示）を簡素化することができる。



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 隆志  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

Fターム(参考) 2H087 KA21 NA02 NA04 TA01 TA02  
TA04 TA06 UA03 UA04  
5F046 BA05 CA04 CA08 CB02 CB12  
CB25